

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra aplikované mechaniky



Zlepšení užitečných vlastností zámku zadních sedadel automobilu

Improving Usability the Rear Car Seats Lock

Student: Bc. Filip Adámek

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Petr Horyl, CSc., dr.h.c.

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechaniky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Filip Adámek**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3901T003 Aplikovaná mechanika
Téma: Zlepšení užitečných vlastností zámku zadních sedadel automobilu
Improving Usability the Rear Car Seats Lock

Zásady pro vypracování:

- 1) Rešerše typů zámků zadních sedadel automobilů
- 2) Studium charakteru explicitní metody programu ANSYS Workbench
- 3) Vytvoření zjednodušeného počítačového modelu zámku
- 4) Simulace dynamické únosnosti zámku
- 5) Návrh změn konstrukce s cílem zvýšení dynamické únosnosti
- 6) Zhodnocení a závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

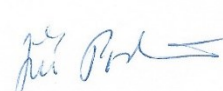
- 1] Literatura firmy BRANO
- 2] ANSYS Mechanical User's Guide, © 2013 SAS IP, Inc., Release 15.0, pp. 1858
- 3] Tutorials for ANSYS Workbench <http://www.ansys.com/tutorials>
- 4] Workbench User's Guide, © 2013 SAS IP, Inc., Release 15.0, pp. 294
- 5] Lecture 1 Explicit Dynamics Introduction, Material Modeling, Release 15.0, pp. 36
- 6] Explicit_for_Mechanical_Users_15.0_v1

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Petr Horyl, CSc., dr.h.c.**

Datum zadání: 13.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015


doc. Ing. Jiří Podešva, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Tímto chci poděkovat panu prof. Ing. Petru Horylovi, CSc., dr.h.c. a panu Ing. Pavlu Maršálkovi z Ústavu mechaniky katedry 330, Aplikovaná mechanika VŠB TU – Ostrava. Díky jejich pomoci, radám a doporučením se kvalita této práce výrazně zvýšila. Dále bych chtěl poděkovat kolektivu oddělení konstrukce a vývoje společnosti Brano, a.s. v Hradci nad Moravicí za poskytnutí veškerých podkladů k vypracování této práce. Zvláště bych pak chtěl poděkovat panu Ing. Tomáši Kučerovi a panu Ing. Michalu Newerlovi za jejich připomínky a rady.

Filip Adámek

MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ STUDENTA

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě:

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- ✓ byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- ✓ beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- ✓ souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- ✓ bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- ✓ bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- ✓ beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Filip Adámek

Adresa trvalého pobytu autora práce: Výchovická 2564/74, Ostrava – Zábřeh, 700 30

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Filip Adámek, *Zlepšení užitných vlastností zámku zadních sedadel automobilu*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra aplikované mechaniky – 330, 2015. Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Petr Horyl, CSc., dr.h.c.

Diplomová práce se zabývá dynamickou analýzou zámku zadních sedadel automobilu. Tato analýza simuluje nárazovou zkoušku automobilu, při které dochází k působení velkých sil na zámek zadních sedadel. Ve třech k sobě kolmých směrech se zjišťuje, při jaké síle dojde k jeho porušení. Hlavním cílem této diplomové práce je zjistit kritická místa zámku zadních sedadel a navrhnout vhodné úpravy ke zvýšení jeho dynamické únosnosti. Dalším cílem práce je provedení rešerše současných zámků zadních sedadel a prostudování explicitní numerické metody. Veškeré analýzy jsou řešeny metodou počítačového modelování s využitím metody konečných prvků v modulu „Explicit Dynamics“ softwaru ANSYS Workbench.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

Filip Adámek, *Improving Usability the Rear Car Seats Lock*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Applied Mechanics - 330, 2013. Supervisor: prof. Ing. Petr Horyl, CSc., dr.h.c.

This master thesis deals with the rear car seats lock dynamic analysis. This analysis simulates the crash test of a car, in which great forces apply to the rear car seats lock. In three to each other perpendicular directions is determined how great force will destroy the rear car seats lock. The main aim of this master thesis is to find out critical regions of the rear car seats lock and propose suitable improvements to increase its dynamic capacity. The next aim of thesis is to make a research of contemporary rear car seats locks and study explicit numerical method. All analyses are solved with computer modeling using the finite element method in module „Explicit Dynamics“ in software ANSYS Workbench.

Obsah

Seznam obrázků	5
Seznam tabulek.....	9
Seznam grafů	10
Seznam použitého značení.....	12
1. ÚVOD	14
2. ZÁMKY V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU	15
2.1. Zámek zadních sedadel	16
2.2. Popis zámku zadních sedadel	17
2.3. Polohy zámku zadních sedadel	18
2.4. Rešerše zámků zadních sedadel.....	19
2.4.1. Zámek zadních sedadel ZS02	19
2.4.2. Zámek zadních sedadel ZS07	20
2.4.3. Zámek zadních sedadel ZS22	21
2.4.4. Zámek zadních sedadel ZS100	21
2.4.5. Zámek zadních sedadel ZSVW379	22
2.5. Požadavky kladené na zámek zadních sedadel.....	23
2.5.1. Pevnostní zkoušky zámků zadních sedadel.....	23
3. EXPLICITNÍ NUMERICKÁ METODA PRO ŘEŠENÍ RYCHLÝCH DYNAMICKÝCH DĚJŮ NELINEÁRNÍCH SYSTÉMŮ	25
3.1. Teorie explicitní metody	26
3.2. Možnosti softwaru v prostředí ANSYS Workbench	29

3.2.1.	ANSYS Explicit STR	29
3.2.2.	ANSYS Autodyn	29
3.2.3.	ANSYS LS-DYNA.....	30
4.	MODEL ZÁMKU ZADNÍCH SEADEL	30
4.1.	Kompletní zámek zadních sedadel	30
4.2.	Zjednodušený model zámku zadních sedadel použitý v analýze ...	31
4.3.	Materiálové modely zámku zadních sedadel.....	32
4.3.1.	Materiál C45E43HRC.....	33
4.3.2.	Materiál S420MC (EN 10149-2)	34
4.3.3.	Materiál 11SMn30 (EN 10277-3)	35
4.3.4.	Nadefinování multi-lineárního materiálového modelu v softwaru ANSYS Workbench	36
4.3.5.	Použité typy elementů v konečno-prvkovém modelu	37
4.3.5.1.	Šestistěnný, pětistěnný element.....	38
4.3.5.2.	Čtvercový, trojúhelníkový skořepinový element.....	38
4.3.6.	Chování jednotlivých součástí zámku zadních sedadel v konečno-prvkovém modelu z hlediska tuhosti	39
5.	ANALÝZA ZÁMKU ZADNÍCH SEADEL ZJIŠTĚNÁ POMOCÍ EXPLICITNÍ NUMERICKÉ METODY	39
5.1.	Postup při analýze.....	39
5.2.	Nastavení analýzy	41
5.3.	Analýza rohatky	42
5.3.1.	Konečno-prvková síť	42
5.3.2.	Kontakty.....	42
5.3.3.	Okrajové podmínky.....	43
5.3.4.	Počáteční kritický časový krok	44
5.3.5.	Získané výsledky pro směr působící síly F_1	45
5.3.6.	Získané výsledky pro směr působící síly F_2	48
5.3.7.	Získané výsledky pro směr působící síly F_3	52

5.3.8.	Dílčí závěr a zhodnocení	55
5.4.	Analýza rohatky se západkou, která je uložena v čepech.....	56
5.4.1.	Úpravy na modelu	56
5.4.2.	Konečno-prvková síť	57
5.4.3.	Kontakty.....	58
5.4.4.	Okrajové podmínky.....	58
5.4.5.	Počáteční kritický časový krok	59
5.4.6.	Získané výsledky pro směr působící síly F_1	60
5.4.7.	Získané výsledky pro směr působící síly F_2	63
5.4.8.	Získané výsledky pro směr působící síly F_3	65
5.4.9.	Dílčí závěr a zhodnocení	66
5.5.	Analýza zjednodušeného zámku zadních sedadel přichyceného šrouby v čepech.....	67
5.5.1.	Úpravy na modelu	67
5.5.2.	Konečno-prvková síť	68
5.5.3.	Kontakty.....	69
5.5.4.	Okrajové podmínky.....	70
5.5.5.	Počáteční kritický časový krok	71
5.5.5.1.	Mass scaling	72
5.5.6.	Získané výsledky pro směr působící síly F_1	74
5.5.7.	Získané výsledky pro směr působící síly F_2	76
5.5.8.	Získané výsledky pro směr působící síly F_3	79
5.5.9.	Dílčí závěr a zhodnocení	81
6.	NÁVRH ZMĚN KONSTRUKCE ZÁMKU ZADNÍCH SEDADEL S CÍLEM ZVÝŠENÍ DYNAMICKE ÚNOSNOSTI.....	82
6.1.	Změny konstrukce provedené na rohatce	82
6.2.	Úpravy na modelu.....	82
6.3.	Konečno-prvková síť'	83
6.4.	Kontakty	84

6.5. Okrajové podmínky	84
6.6. Počáteční kritický časový krok.....	84
6.7. Získané výsledky pro směr působící síly F_1.....	84
6.8. Získané výsledky pro směr působící síly F_2.....	87
6.9. Získané výsledky pro směr působící síly F_3.....	90
6.10. Dílčí závěr a zhodnocení	91
7. CELKOVÉ ZHODNOCENÍ A ZÁVĚR.....	92
8. CITOVANÁ LITERATURA	96

Seznam obrázků

Obr. 1 Visací zámek a dveřní zámek (zleva) (3), (4).....	14
Obr. 2 Rozdělení automobilových zámků dle jejich umístění.....	15
Obr. 3 Rozmístění částí systému zámků zadních sedadel z pohledu uživatele (17).....	16
Obr. 4 Rozmístění částí systému zámků zadních sedadel uvnitř sedadla	17
Obr. 5 Zámek zadních sedadel se třmenem	18
Obr. 6 Zámek zadních sedadel v uzavřené a otevřené poloze (zleva)	19
Obr. 7 Zámek zadních sedadel ZS02	19
Obr. 8 Ford Galaxy (18)	19
Obr. 9 Zámek zadních sedadel ZS07 s madlem a samostatně (zleva)	20
Obr. 10 Citroen DS3 (5)	20
Obr. 11 Zámek zadních sedadel ZS22	21
Obr. 12 Alfa Romeo Giulietta a Fiat Bravo (shora) (19), (20)	21
Obr. 13 Zámek zadních sedadel ZS100 kompletní a bez krytu (shora).....	22
Obr. 14 Nissan Qashqai (21).....	22
Obr. 15 Zámek zadních sedadel ZSVW379 kompletní a bez základní desky (zleva)	22
Obr. 16 Volkswagen Golf Plus a Tiguan (shora) (22), (23)	22
Obr. 17 Směry zatěžujících sil zámků zadních sedadel.....	24
Obr. 18 Použití implicitních a explicitních metod (6)	26
Obr. 19 CAD model zámků zadních sedadel.....	31
Obr. 20 Zjednodušený model zámků zadních sedadel použitý ve FEM analýze	32
Obr. 21 Přiřazení materiálových modelů jednotlivým součástem zámků zadních sedadel	32
Obr. 22 Přiřazení typů elementů k jednotlivým součástem zámků zadních sedadel	37
Obr. 23 Šestistěnný a pětistěnný element (zleva) (14)	38
Obr. 24 Čtvercový a trojúhelníkový skořepinový element (zleva) (14)	38
Obr. 25 Kritická místa porušení rohatky	40
Obr. 26 Konečno-prvková síť vytvořená na rohatce a třmenu (hrubá a jemná - zleva)	42
Obr. 27 Okrajové podmínky zadane v modelu rohatky se třmenem	43
Obr. 28 Počáteční časový krok rohatky [s] (hrubá a jemná síť - shora)	44
Obr. 29 Redukované napětí σ_{RHH} při 6% poměrné plastické deformaci [MPa] (hrubá a jemná síť - shora).....	45
Obr. 30 6% poměrná plastická deformace rohatky [-] (hrubá a jemná síť - shora).....	46

Obr. 31 Redukované napětí σ_{RHHM} při 6% poměrné plastické deformaci [MPa] (hrubá a jemná síť - shora)	48
Obr. 32 6% poměrná plastická deformace rohatky [-] (hrubá a jemná síť - shora)	49
Obr. 33 Detail 6% poměrné plastické deformace rohatky s jemnou sítí v místě kolem čepu [-]	50
Obr. 34 Redukované napětí σ_{RHHM} při 6% poměrné plastické deformaci [MPa] (hrubá a jemná síť - shora)	52
Obr. 35 6% poměrná plastická deformace rohatky [-] (hrubá a jemná síť - shora)	53
Obr. 36 Stav před úpravami modelu a po úpravách (zleva)	56
Obr. 37 Konečno-prvková síť vytvořená na rohatce a západce uložené v čepch	57
Obr. 38 Okrajové podmínky zadane v modelu rohatky a západky uložené v čepch	58
Obr. 39 Pokračování okrajových podmínek zadaných v modelu rohatky a západky uložené v čepch	59
Obr. 40 Počáteční časový krok v modelu rohatky a západky uložené v čepch [s]	59
Obr. 41 Redukované napětí σ_{RHHM} při 6% poměrné plastické deformaci [MPa]	60
Obr. 42 6% Poměrná plastická deformace na rohatce v modelu se západkou a čepy [-]	61
Obr. 43 Detail 6% poměrné plastické deformace rohatky v místě kolem čepu [-]	61
Obr. 44 Ukázka místa porušení rohatky v čase $1,051 \cdot 10^{-2}$ s [-]	62
Obr. 45 Redukované napětí σ_{RHHM} při 6% poměrné plastické deformaci [MPa]	63
Obr. 46 6% Poměrná plastická deformace na rohatce v modelu se západkou a čepy [-]	63
Obr. 47 Detail 6% poměrné plastické deformace rohatky v místě kolem čepu [-]	64
Obr. 48 Redukované napětí σ_{RHHM} při 6% poměrné plastické deformaci [MPa]	65
Obr. 49 6% poměrná plastická deformace na rohatce v modelu se západkou a čepy [-]	65
Obr. 50 Konečno-prvková síť vytvořená na zjednodušeném modelu zámku zadních sedadel	68
Obr. 51 „Bonded“ kontakt mezi základní deskou a čepem	69
Obr. 52 Okrajové podmínky zadane ve zjednodušeném modelu zámku zadních sedadel ..	70
Obr. 53 Původní počáteční kritický časový krok [s]	71
Obr. 54 Použití techniky „Mass scaling“ na základní desce zjednodušeného zámku zadních sedadel [-]	72
Obr. 55 Nový počáteční kritický časový krok [s]	73
Obr. 56 Redukované napětí σ_{RHHM} při 6% poměrné plastické deformaci ve zjednodušeném modelu zámku zadních sedadel [MPa]	74

Obr. 57 6% Poměrná plastická deformace v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel [-]	74
Obr. 58 Detail 6% poměrné plastické deformace v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel [-]	75
Obr. 59 Detail 6% poměrné plastické deformace v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel vyhodnocené na rohatce v místě kolem čepu [-]	75
Obr. 60 Redukované napětí σ_{RHH} při 6% poměrné plastické deformaci v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel [MPa]	77
Obr. 61 6% poměrná plastická deformace v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel [-]	77
Obr. 62 Detail 6% poměrné plastické deformace distančního kroužku rohatky v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel [-].....	78
Obr. 63 Detail 6% poměrné plastické deformace rohatky kolem čepu v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel [-].....	78
Obr. 64 Redukované napětí σ_{RHH} při 6% poměrné plastické deformaci [MPa].....	79
Obr. 65 6% poměrná plastická deformace v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel [-]	80
Obr. 66 Změněná konstrukce rohatky.....	82
Obr. 67 Konečno-prvková síť na zjednodušeném zámku zadních sedadel s upravenou rohatkou	83
Obr. 68 Redukované napětí σ_{RHH} při 6% poměrné plastické deformaci v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel s upravenou rohatkou [MPa].....	84
Obr. 69 6% Poměrná plastická deformace v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel s upravenou rohatkou [-].....	85
Obr. 70 Detail 6% poměrné plastické deformace v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel vyhodnocené na upravené rohatce v místě kolem čepu [-].....	86
Obr. 71 Redukované napětí σ_{RHH} při 6% poměrné plastické deformaci v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel s upravenou rohatkou [MPa].....	87
Obr. 72 6% poměrná plastická deformace v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel s upravenou rohatkou [-].....	88
Obr. 73 Detail 6% poměrné plastické deformace distančního kroužku rohatky v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel s upravenou rohatkou [-].....	88

Obr. 74 Detail 6% poměrné plastické deformace rohatky kolem čepu v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel s upravenou rohatkou [-].....	89
Obr. 75 Redukované napětí σ_{RHH} při 6% poměrné plastické deformaci v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel s upravenou rohatkou [MPa].....	90
Obr. 76 6% poměrná plastická deformace v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel s upravenou rohatkou [-].....	90

Seznam tabulek

Tab. 1	Hodnoty získané z tahové zkoušky materiálu C45E43HRC	33
Tab. 2	Skutečné hodnoty přepočítané z tahové zkoušky materiálu C45E43HRC.....	34
Tab. 3	Podstatné mechanické vlastnosti materiálu C45E43HRC.....	34
Tab. 4	Podstatné mechanické vlastnosti materiálu S420MC (12)	35
Tab. 5	Podstatné mechanické vlastnosti materiálu 11SMn30 (13).....	36
Tab. 6	Parametry analýzy zámku zadních sedadel	41
Tab. 7	Typy nastavení explicitní numerické metody v softwaru ANSYS Workbench (15).....	41
Tab. 8	Dosažené síly při 6% poměrné plastické deformaci.....	55
Tab. 9	Dosažená redukovaná napětí σ_{RHHM} při 6% poměrné plastické deformaci.....	55
Tab. 10	Čas při dosažení 6% poměrné plastické deformace	55
Tab. 11	Počet elementů a uzlů obsažených v modelu rohatky a západky uložené v čepech	57
Tab. 12	Dosažené síly při 6% poměrné plastické deformaci v modelu rohatky a západky uložené v čepech.....	66
Tab. 13	Dosažená redukovaná napětí σ_{RHHM} při 6% poměrné plastické deformaci v modelu rohatky a západky uložené v čepech.....	66
Tab. 14	Čas při dosažení 6% poměrné plastické deformace v modelu rohatky a západky uložené v čepech.....	67
Tab. 15	Počet elementů a uzlů obsažených ve zjednodušeném modelu zámku zadních sedadel	68
Tab. 16	Číselné vyhodnocení techniky „Mass scaling“ použité v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel	73
Tab. 17	Dosažené síly při 6% poměrné plastické deformaci v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel	81
Tab. 18	Dosažená redukovaná napětí σ_{RHHM} při 6% poměrné plastické deformaci v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel.....	81
Tab. 19	Čas při dosažení 6% poměrné plastické deformace v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel	81
Tab. 20	Počet elementů a uzlů obsažených ve zjednodušeném modelu zámku zadních sedadel s upravenou rohatkou.....	83
Tab. 21	Dosažené síly při 6% poměrné plastické deformaci v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel s upravenou rohatkou.....	91

Tab. 22 Dosažená redukovaná napětí σ_{RHH} při 6% poměrné plastické deformaci.....	91
Tab. 23 Čas při dosažení 6% poměrné plastické deformace	92
Tab. 24 Vyhodnocení dosažených sil u analyzovaných modelů při 6% poměrné plastické deformace.....	95
Tab. 25 Srovnání dosažených sil při 6% plastické deformaci původního a upraveného zjednodušeného modelu zámku zadních sedadel.....	95

Seznam grafů

Graf 1 Materiál přiřazený rohatce a západce	33
Graf 2 Materiál přiřazený základní desce	35
Graf 3 Materiál přiřazený čepům a distančním kroužkům	36
Graf 4 Síla F_1 při 6% poměrné plastické deformaci u rohatky s hrubou konečno-prvkovou sítí.....	47
Graf 5 Síla F_1 při 6% poměrné plastické deformaci u rohatky s jemnou konečno-prvkovou sítí.....	47
Graf 6 Síla F_2 při 6% poměrné plastické deformaci u rohatky s hrubou konečno-prvkovou sítí.....	50
Graf 7 Síla F_2 při 6% poměrné plastické deformaci u rohatky s jemnou konečno-prvkovou sítí.....	51
Graf 8 Síla F_3 při 6% poměrné plastické deformaci u rohatky s hrubou konečno-prvkovou sítí.....	54
Graf 9 Síla F_3 při 6% poměrné plastické deformaci u rohatky s jemnou konečno-prvkovou sítí.....	54
Graf 10 Síla F_1 při 6% plastické deformaci v modelu rohatky a západky uložené v čepích	62
Graf 11 Síla F_2 při 6% plastické deformaci v modelu rohatky a západky uložené v čepích	64
Graf 12 Síla F_3 při 6% plastické deformaci v modelu rohatky a západky uložené v čepích	66
Graf 13 Síla F_1 při 6% plastické deformaci v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel	76

Graf 14 Síla F_2 při 6% plastické deformaci v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel	79
Graf 15 Síla F_3 při 6% plastické deformaci v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel	80
Graf 16 Síla F_1 při 6% plastické deformaci v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel s upravenou rohatkou.....	86
Graf 17 Síla F_2 při 6% plastické deformaci v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel s upravenou rohatkou.....	89
Graf 18 Síla F_3 při 6% plastické deformaci v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel s upravenou rohatkou.....	91

Seznam použitého značení

Značka	Název veličiny	Jednotka
$\{\mathbf{F}^{ext}\}_n$	Vektor extérních sil v kroku n	N
$\{\mathbf{F}^{int}\}_n$	Vektor interních sil v kroku n	N
$\{\dot{\mathbf{R}}\}_n$	Vektor rychlostí v kroku n	$m \cdot s^{-1}$
$\{\ddot{\mathbf{R}}\}_n$	Vektor zrychlení v kroku n	$m \cdot s^{-2}$
$\{\dot{\mathbf{R}}\}_{n+1}$	Vektor rychlostí v kroku n+1	$m \cdot s^{-1}$
$\{\ddot{\mathbf{R}}\}_{n+1}$	Vektor zrychlení v kroku n+1	$m \cdot s^{-2}$
$\{\dot{\mathbf{R}}\}_{n-1}$	Vektor rychlostí v kroku n-1	$m \cdot s^{-1}$
$\{\ddot{\mathbf{R}}\}_{n-1}$	Vektor zrychlení v kroku n-1	$m \cdot s^{-2}$
$[\mathbf{M}]^{-1}$	Inverzní matice tuhosti	$N \cdot m^{-1}$
$\{\mathbf{R}\}_n$	Vektor přemístění v kroku n	m
$\{\mathbf{R}\}_{n+1}$	Vektor přemístění v kroku n+1	m
$\{\mathbf{R}\}_{n-1}$	Vektor přemístění v kroku n-1	m
$[\mathbf{D}]$	Matice tlumení	
F_1	Síla ve směru osy X	N
F_2	Síla ve směru osy Y	N
F_3	Síla ve směru osy Z	N
$[\mathbf{K}]$	Matice tuhostí	$N \cdot m^{-1}$
$[\mathbf{M}]$	Matice hmot	kg
s_{trmen}	Posuv třmenu	mm
t_c	Kritický časový krok	s
v_{trmen}	Rychlost třmenu	$mm \cdot s^{-1}$
σ_R^{HMH}	Redukované napětí dle hypotézy HMH	MPa
σ_Y	Mez kluzu materiálu	MPa
σ_u	Mez pevnosti materiálu	MPa
A	Tažnost materiálu	$\%$
E	Youngův modul pružnosti	MPa
c	Rychlost zvuku materiálu	$m \cdot s^{-1}$
f	Bezpečnostní faktor kritického časového kroku	-

h	Charakteristický rozměr sítě konečných prvků	<i>mm</i>
t	Doba analyzovaného děje	<i>s</i>
Δt	Časový rozdíl	<i>s</i>
ε	Poměrné prodloužení	-
$\varepsilon - skut$	Skutečné poměrné prodloužení	-
$\varepsilon - zk$	Poměrné prodloužení z tahové zkoušky	-
μ	Poissonova konstanta	-
ρ	Měrná hmotnost	<i>kg.m⁻³</i>
σ	Napětí	<i>MPa</i>
$\sigma - FEM$	Hodnoty napětí použitých ve FEM analýze (viz <i>Graf 1, Tab. 1</i>)	<i>MPa</i>
$\sigma - skut$	Hodnoty skutečného napětí (viz <i>Graf 1, Tab. 1</i>)	<i>MPa</i>
$\sigma - zk$	Hodnoty napětí z tahové zkoušky (viz <i>Graf 1, Tab. 1</i>)	<i>MPa</i>

1. Úvod

Zámek je obecně mechanické nebo elektronické zařízení, které slouží k omezení přístupu k určitému druhu informací či do určitého prostoru. S tímto zařízením přichází člověk do styku takřka denně. Ať už je to odemykání dveří do bytu či do automobilu, zajištění jízdního kola proti krádeži nebo upevnění součásti v určité poloze.

První zmínky o zámku jsou z dob starověkého Egyptu a Babylónu. Od této doby se na funkci zámku mnoho nezměnilo, avšak systémy jsou daleko propracovanější z hlediska používaných materiálů, systému a otevírání. Materiál a konstrukce zámku se navrhuje s ohledem na náročnost jeho funkce a prostředí v jakém pracuje. Nejčastěji se zámky vyrábějí z konstrukčních a pevnostních ocelí, některé části se vyrábějí z plastů. (1), (2)

Zámky lze rozdělit podle mnoha kritérií. Otevírání zámku je jeden z parametrů, který vypovídá o jeho použití. Nejběžnějším způsobem otevírání je jistě klíčové otevírání, kdy uživatel použije pro odjištění klíč pro tento zámek určený. Dále pak existují systémy ruční, mincové, kartové, dlaňové a heslové. Zámky lze rozlišit také podle jejich systému na pevné, visací, lanové a elektronické. Visací zámky se kupříkladu používají k zamezení přístupu do nepříliš důležitých prostorů, jako jsou nábytkové prostory, kůlny apod. V moderních zařízeních (např. přenosné počítače) jsou častou použité systémy elektronické.

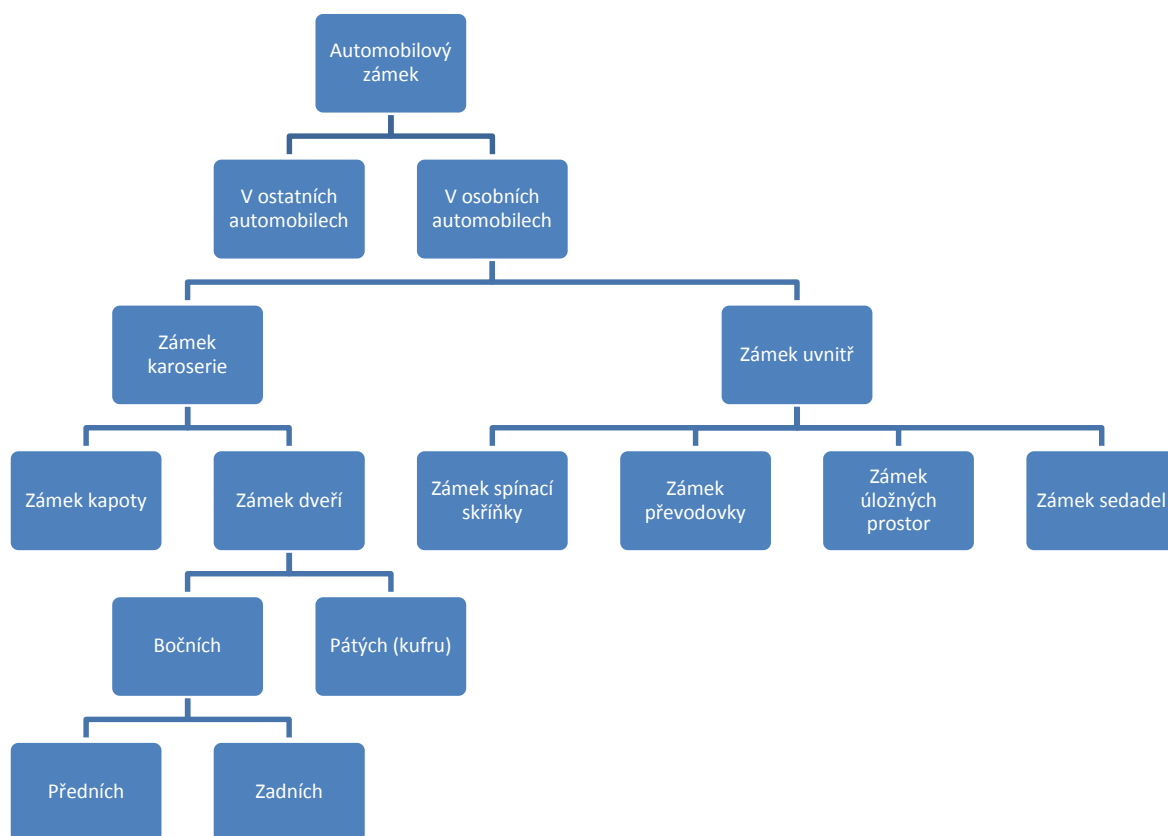


Obr. 1 Visací zámek a dveřní zámek (zleva) (3), (4)

2. Zámky v automobilovém průmyslu

Jeden z průmyslů, kde se velice často používají zámky je automobilový průmysl. Automobilové zámky jsou často opomíjenou částí automobilu a většina uživatelů uvažuje pouze o jejich hlavním účelu, což je zabezpečení vozidla. Tyto zámky však neslouží pouze jako zabezpečovací zařízení automobilu, ale mají především podstatný vliv na pohodlí a bezpečnost při jejich užívání.

Automobilové zámky je možno rozdělit dle mnoha kritérií. V této práci byly rozděleny dle jejich umístění v automobilu.



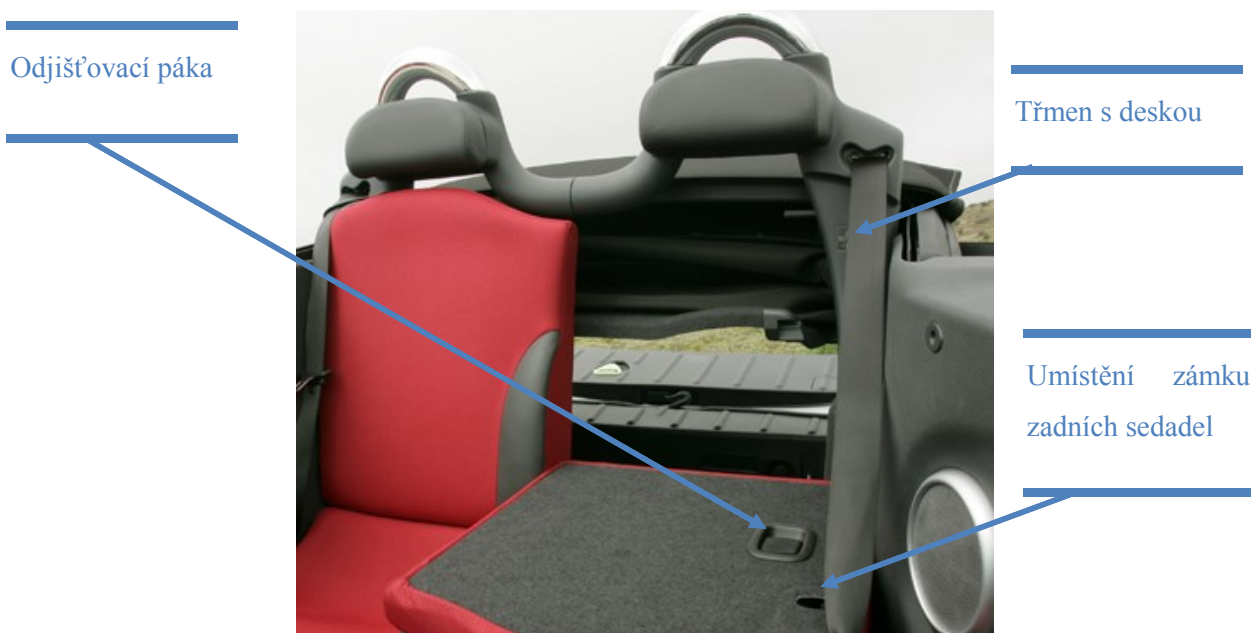
Obr. 2 Rozdělení automobilových zámků dle jejich umístění

2.1. Zámek zadních sedadel

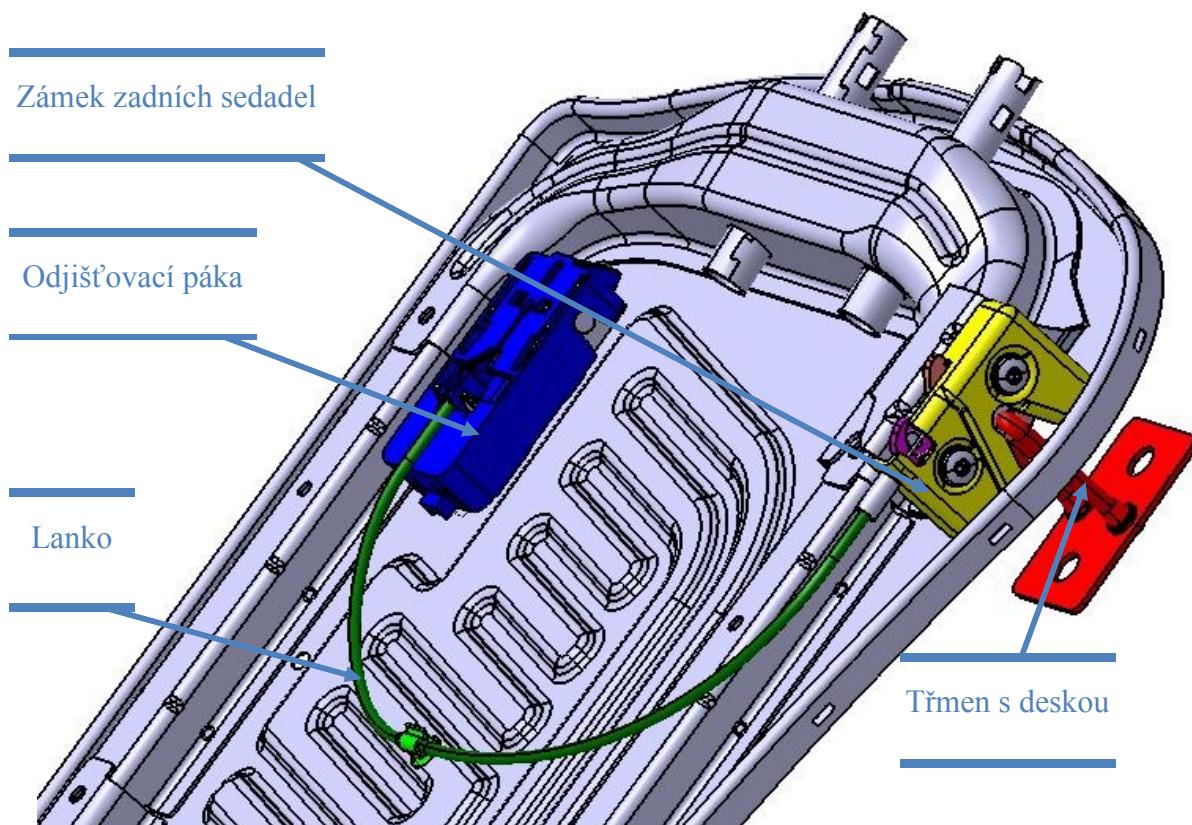
Zámek sedadel je mechanismus sloužící k zajištění určité polohy sedadla nebo opěradla. Pokud je zámek v uzavřené poloze, drží sedadlo či opěradlo v poloze určené pro sezení. V opačném případě lze tyto části sklopit a vytvořit tak místo například pro větší náklad.

Zámek zadních sedadel má tyto způsoby ovládání:

- pomocí páky (u vozů, kde je možno sedadlo sklopit pouze z prostoru kabiny)
- pomocí lanka s pákou (u vozů, kde je možno sedadlo sklopit pouze z prostoru kufru)
- kombinace předchozích dvou způsobů (u vozů, kde je možno sedadlo sklopit z prostoru kabiny i kufru)



Obr. 3 Rozmístění částí systému zámku zadních sedadel z pohledu uživatele (17)



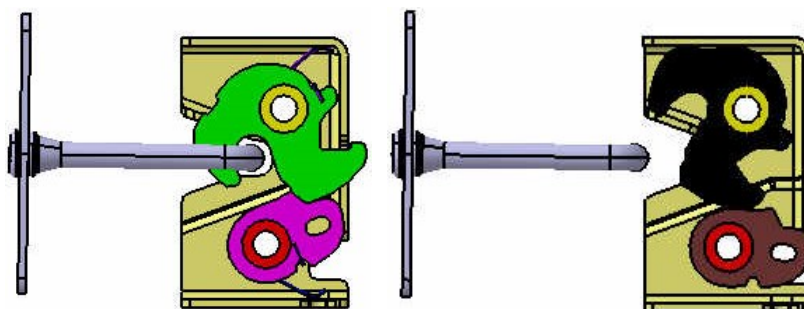
Obr. 4 Rozmístění částí systému zámku zadních sedadel uvnitř sedadla

2.2. Popis zámku zadních sedadel

Zámek zadních sedadel se skládá z následujících částí, viz Obr. 5:

- 1) Rohatka – slouží k uchycení sedadla či opěradla v pevné poloze skrze třmen
- 2) Západka – slouží k odjištění zámku a udržuje rohatku v zavřené poloze
- 3) Zkrutné pružiny – slouží k přenosu otevírací a zavírací síly; zajišťují správné fungování zámku
- 4) Čepy – slouží k rotačnímu uložení rohatky a západky
- 5) Základní deska – slouží k pevnému uložení čepů; dále také k pevnému uložení celého zámku do zástavby sedadla
- 6) Třmen – slouží k uchycení zámku se sedadlem
- 7) Deska třmenu – je pevně spojena s karoserií vozidla a zároveň je s ní pevně spojen třmen





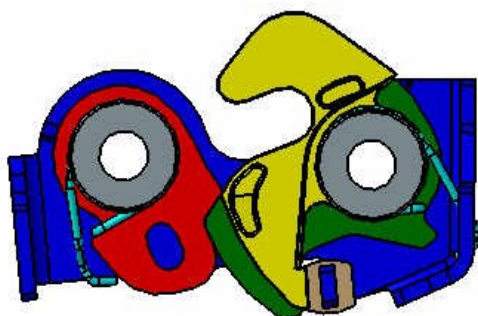
Obr. 6 Zámek zadních sedadel v uzavřené a otevřené poloze (zleva)

2.4. Rešerše zámků zadních sedadel

Součástí této diplomové práce bylo provedení rešerše současných zámků zadních sedadel. Protože typů zámků zadních sedadel se v automobilech používá velké množství, budou uvedeny pouze ty nejzajímavější.

2.4.1. Zámek zadních sedadel ZS02

Zámek zadních sedadel ZS02 má klasickou konstrukci, která obsahuje rohatku, západku, čepy a zkrutné pružiny. Čepy jsou pevně uchyceny v základní desce. Odjištění zámku je uskutečněno pomocí lanka. Mimo jiné zámek obsahuje plastový kryt rohatky a doraz. Na Obr. 7 je vyobrazen automobil, pro který se tento typ zámku vyrábí.



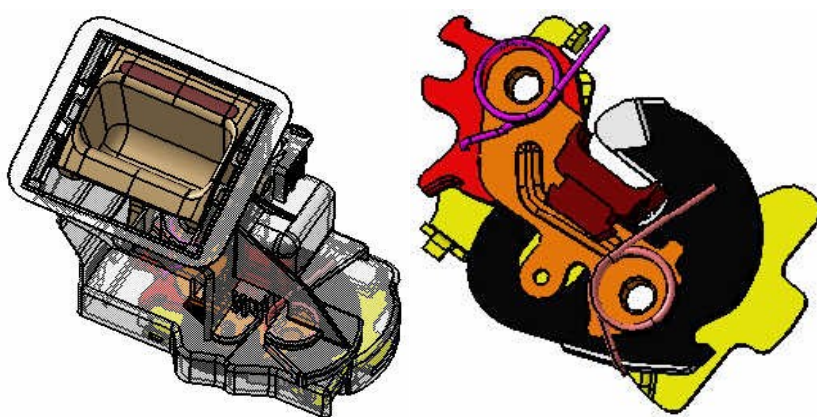
Obr. 7 Zámek zadních sedadel ZS02



Obr. 8 Ford Galaxy (18)

2.4.2. Zámek zadních sedadel ZS07

Tento zámek zadních sedadel se vyznačuje tím, že je uložen horizontálně. Také se skládá z částí jako předchozí zámek, avšak je tvarově a materiálově odlišný. Zámek ZS07 se ovládá přes madlo s pákou. Při vyvinutí síly madlem se páka opře o západku a zámek se otevře. Madlo zámku je opatřeno tzv. „red markem“, což je viditelná značka, která se vysune při otevření zámku. Tento typ zámku se montuje do automobilu na Obr. 10.



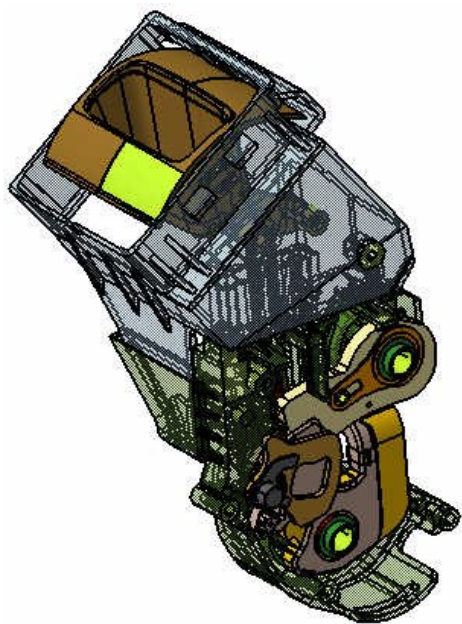
Obr. 9 Zámek zadních sedadel ZS07 s madlem a samostatně (zleva)



Obr. 10 Citroen DS3 (5)

2.4.3. Zámek zadních sedadel ZS22

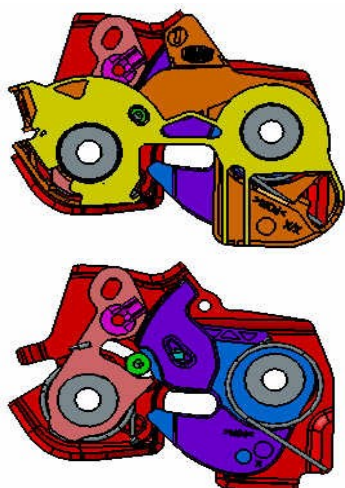
Zámek ZS22 standartní konstrukce je velmi podobný zámku ZS07, avšak je uložen vertikálně. Odjištění zámku probíhá pomocí madla s táhlem, které uvolní západku. Vznikající rázy při jízdě automobilu jsou tlumeny pomocí vačky. Zástavba zámku je vyrobena z plastu. Na Obr. 12 jsou zobrazeny automobily používající tento typ zámku.



Obr. 11 Zámek zadních sedadel ZS22 **Obr. 12** Alfa Romeo Giulietta a Fiat Bravo (shora) (19), (20)

2.4.4. Zámek zadních sedadel ZS100

Konstrukce zámku ZS100 je velmi podobná jako zámku ZS02. Tvarově i rozměrově se mírně liší. Podobně jako zámek ZS22 obsahuje prvek, který tlumí rázy rohatky, avšak vačka byla nahrazena válečkem. Tento váleček tlačí na rohatku, a tímto vymezuje vůli mezi ní a třmenem. Ovládání je realizováno pomocí lanka. Zámek je chráněn plastovými kryty. Tento typ je vyráběn pro automobil na Obr. 14.



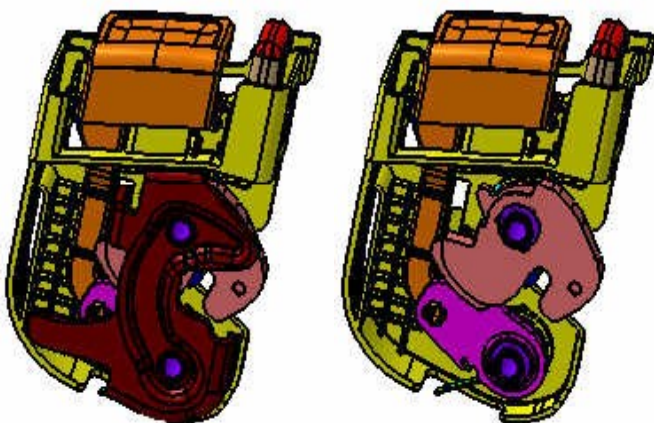
Obr. 13 Zámek zadních sedadel ZS100 kompletní a bez krytu (shora)



Obr. 14 Nissan Qashqai (21)

2.4.5. Zámek zadních sedadel ZSVW379

Zámek zadních sedadel ZSVW379 je ovládán pomocí plastového tlačítka s táhlem. Toto táhlo je přímo napojeno na západku. Pokud dojde ke zmáčknutí tlačítka, dojde k pohybu západky, a tedy odjištění zámku. Zámek je opatřen „red markem“, který se vysune při odjištění zámku. Čepy jsou uchyceny v ocelové základní desce, zástavba zámku je plastová.



Obr. 15 Zámek zadních sedadel ZSVW379 kompletní a bez základní desky (zleva)



Obr. 16 Volkswagen Golf Plus a Tiguan (shora) (22), (23)

2.5. Požadavky kladené na zámek zadních sedadel

Každý nový zámek, ať už zadních sedadel, či jiný, musí projít řadou zkoušek. Tyto zkoušky zaručují, že zámek je způsobilý k provozu z funkčního a bezpečnostního hlediska.

Zámky zadních sedadel jsou navrhovány tak, aby jejich životnost byla stejná nebo vyšší než životnost automobilu. Většina zámků je testováno na patnáct tisíc cyklů, přičemž jeden cyklus znamená otevření a zavření zámku.

Je také velmi důležité, aby byly zámky schopny pracovat v různých teplotách. Provozeroschopnost automobilových zámků nejčastěji výrobci zaručují v rozmezí od -40°C do $+80^{\circ}\text{C}$.

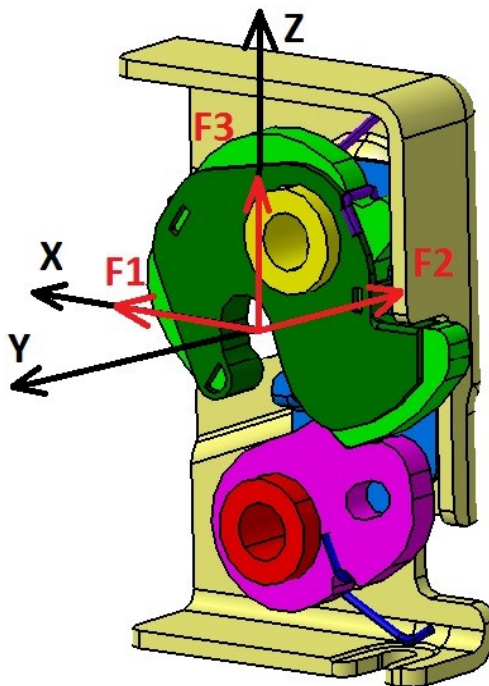
Požadavky nejsou kladeny pouze ze strany zadavatele a uživatele, nýbrž i ze strany výrobce. Výrobci po odzkoušení nových typů zámků předepisují na výkresy požadavky na montáž a provoz takových zařízení. Například je velmi důležité, aby byl zámek připevněn pomocí šroubů správným momentem, který zaručí hladký chod. Pro bezchybný chod je také velmi důležité, aby byly jednotlivé součásti dobře mazány.

Jedním z nejdůležitějších testů, které musí zámky úspěšně absolvovat, jsou pevnostní zkoušky.

2.5.1. Pevnostní zkoušky zámků zadních sedadel

Během provozu automobilu dochází ke vzniku různých statických a dynamických účinků, které mohou zámek uvolnit, a tím tedy ohrozit zdraví cestujících. Proto jsou prováděny pevnostní zkoušky zámků, které jsou v praxi nejčastěji uskutečňovány na trhacích strojích.

Důležitým kritériem zkoušky je, aby nedošlo k uvolnění či roztržení zámku při zatížení, které definuje zadavatel. Zámek je tedy zkoušen v zavřené poloze a to ve třech na sebe kolmých směrech (viz Obr. 17).



Obr. 17 Směry zatěžujících sil zámku zadních sedadel

Dalším způsobem, kterým se zjišťuje, zda je zámek způsobilý k provozu, jsou nárazové zkoušky neboli crash testy. Avšak crash testy jsou prováděny na celých sestavách sedadel či přímo na automobilech jednak z důvodu finanční, tak i časové náročnosti. V Evropě provádí crash testy automobilů instituce European New Car Assessment Programme (Euro NCAP), ve Spojených státech amerických zase The Insurance Institute for Highway Safety (IIHS) nebo The National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA).

Podstatou těchto zkoušek je náraz automobilu v určité rychlosti do překážky, či náraz překážky do automobilu. Jedním z nejdůležitějších testů je čelní náraz automobilu do překážky (frontal impact test, overlap tests), dále pak boční náraz (side impact test) či převrácení (roll-over test).

Každý automobil, který projde řadou crash testů je podle dosažených výsledků bodově ohodnocen. Například dle Euro NCAP jsou automobily hodnoceny hvězdičkami. Maximálně může automobil dosáhnout pěti hvězdiček a minimálně jedné. Výsledky nárazových zkoušek se stávají stále důležitějším kritériem při koupi nového automobilu.

Jak už bylo řečeno, při crash testech automobily či jiné předměty interagují s překážkami v určité rychlosti. Jakmile dojde k nárazu, vznikají velké deformace ve velice krátkém čase. Pro snímání se využívají výkonné vysokorychlostní kamery, které jsou schopny tento rychlý děj zachytit. Pro vyhodnocení měření se používají velmi citlivé senzory.

Prakticky se hodnoty získané z měření nárazových testů porovnávají s Finite Element Method (dále jen FEM) analýzou a zjišťuje se shoda výsledků. FEM analýzy takto rychlých dějů jsou takřka výhradně modelovány explicitní numerickou metodou.

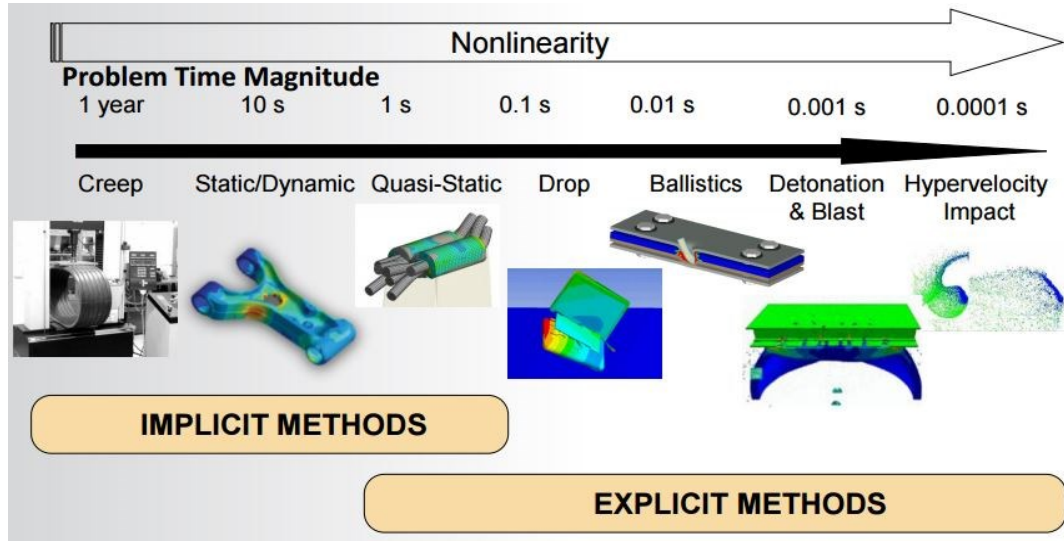
3. Explicitní numerická metoda pro řešení rychlých dynamických dějů nelineárních systémů

Často se výpočty explicitní metodou zkráceně nazývají „explicitní dynamikou“. Jsou to takové typy FEM analýzy, které jsou výhradně určeny pro modelování velmi rychlých fyzikálních jevů. Obecně je vhodná pro úlohy, které obsahují velké deformace, nelineární chování materiálu a jeho tříštění, kontakty a nelineární ztrátu stability. Typické úlohy, které se řeší explicitní dynamikou, jsou tyto:

- Hyper-rychlostní nárazy (náraz asteroidu, náraz mikro-meteoroidů a vesmírných trosek)
- Detonace (různé druhy výbuchů)
- Balistika (průstřely překážek)
- Pády a nárazy (náraz a odraz různých předmětů)
- Kvazi-statika (rozstřík vody, lisování drátu, pohyb gumového těsnění, atd.)

Souhrnně lze říci, že explicitní dynamika je použitelná pro děje trvající méně než jednu vteřinu.

Vedle explicitní metody existuje také implicitní metoda řešení úloh. Oba typy se liší ve vyjádření integračního času při řešení dynamických úloh. (6)



Obr. 18 Použití implicitních a explicitních metod (6)

3.1. Teorie explicitní metody

Z názvu explicitní metoda je patrné, že je využíván explicitní algoritmus pro řešení pohybových rovnic. Jedná se o jeden z typů přímé integrace pohybových rovnic.

Pohybová rovnice systému v kroku n :

$$[M]\{\ddot{R}\}_n + [D]\{\dot{R}\}_n + \{F^{int}\}_n = \{F^{ext}\}_n \quad (3.1)$$

Přičemž:

$$\{F^{int}\}_n = [K]\{R\}_n \quad (3.2)$$

Charakteristika explicitního algoritmu:

$$\{R\}_{n+1} = f\left(\{R\}_n, \{\dot{R}\}_n, \{\ddot{R}\}_n, \{R\}_{n-1}, \{\dot{R}\}_{n-1}, \{\ddot{R}\}_{n-1}\right) \quad (3.3)$$

V dalším kroku je potřeba rozvinout $\{R\}_{n+1}$ a $\{R\}_{n-1}$ v Taylorovu řadu:

$$\{R\}_{n+1} = \{R\}_n + \Delta t \{\dot{R}\}_n + \frac{\Delta t^2}{2} \{\ddot{R}\}_n + \frac{\Delta t^3}{6} \{\ddot{R}\}_n + \dots \quad (3.4)$$

$$\{R\}_{n-1} = \{R\}_n - \Delta t \{\dot{R}\}_n + \frac{\Delta t^2}{2} \{\ddot{R}\}_n - \frac{\Delta t^3}{6} \{\ddot{R}\}_n + \dots \quad (3.5)$$

Po sečtení obou rovnic dostaneme:

$$\{R\}_{n+1} + \{R\}_{n-1} = 2\{R\}_n + \Delta t^2 \{\ddot{R}\}_n \quad (3.6)$$

Z předchozí rovnice vyjádříme zrychlení v kroku n:

$$\{\ddot{R}\}_n = \frac{\{R\}_{n-1} - 2\{R\}_n + \{R\}_{n+1}}{\Delta t^2} \quad (3.7)$$

$$\{R\}_{n+1} = \{R\}_{n-1} + 2\Delta t \{\dot{R}\}_n \quad (3.8)$$

Vyjádříme rychlost v kroku n:

$$\{\dot{R}\}_n = \frac{\{R\}_{n+1} - \{R\}_{n-1}}{2\Delta t} \quad (3.9)$$

Získané vztahy pro zrychlení $\{\ddot{R}\}_n$ a rychlost $\{\dot{R}\}_n$ v kroku n dosadíme do pohybové rovnice (viz (3.1)):

$$[M] \frac{\{R\}_{n-1} - 2\{R\}_n + \{R\}_{n+1}}{\Delta t^2} + [D] \frac{\{R\}_{n+1} - \{R\}_{n-1}}{2\Delta t} + [K]\{R\}_n = \{F^{ext}\}_n \quad (3.10)$$

Po úpravě získáme:

$$\begin{aligned} & \left(\frac{[M]}{\Delta t^2} + \frac{[D]}{2\Delta t} \right) \{R\}_{n+1} \\ & = \{F^{ext}\}_n - [K]\{R\}_n + \frac{2}{\Delta t^2} [M]\{R\}_n - \left(\frac{[M]}{\Delta t^2} - \frac{[D]}{2\Delta t} \right) \{R\}_{n-1} \end{aligned} \quad (3.11)$$

Jestliže platí:

$$\frac{[D]}{2\Delta t} (\{R\}_{n-1} - \{R\}_{n+1}) \cong \frac{[D]}{\Delta t} (\{R\}_{n-1} - \{R\}_n) \quad (3.12)$$

Pak lze napsat:

$$\frac{[M]}{\Delta t^2} \{R\}_{n+1} = \{F^{ext}\}_n - [K]\{R\}_n + \left(\frac{2[M]}{\Delta t^2} - \frac{[D]}{\Delta t} \right) \{R\}_n - \left(\frac{[M]}{\Delta t^2} - \frac{[D]}{\Delta t} \right) \{R\}_{n-1} \quad (3.13)$$

Z rovnice (3.13) pak můžeme vyjádřit rychlost v kroku n+1:

$$\begin{aligned} \{R\}_{n+1} = \Delta t^2 [M]^{-1} & \left(\{F^{ext}\}_n - [K]\{R\}_n + \left(\frac{2[M]}{\Delta t^2} - \frac{[D]}{\Delta t} \right) \{R\}_n \right. \\ & \left. - \left(\frac{[M]}{\Delta t^2} - \frac{[D]}{\Delta t} \right) \{R\}_{n-1} \right) \end{aligned} \quad (3.14)$$

Pro započetí výpočtu je nutné znát výchylky $\{R\}_{n-1}$ v kroku $n-1$. Musí být tedy známy hodnoty $\{R\}_0$ a $\{\dot{R}\}_0$ v kroku $n=0$. Rozvineme $\{R\}_{n-1}$ v řadu.

$$\{R\}_{n-1} = \{R\}_0 - \Delta t \{\dot{R}\}_0 + \frac{\Delta t^2}{2} \{\ddot{R}\}_0 + \dots \quad (3.15)$$

Zrychlení $\{\ddot{R}\}_0$ se zjistí z pohybové rovnice v kroku $n=0$:

$$\{\ddot{R}\}_0 = [M]^{-1} \left(-[D]\{\dot{R}\}_0 - [K]\{R\}_0 + \{F^{ext}\}_0 \right) \quad (3.16)$$

Následně se za $\{\ddot{R}\}_0$ v rovnici (3.15) dosadí z rovnice (3.16). Konečně se rovnice (3.15) dosadí do rovnice (3.14), z této rovnice pak zjistíme výchylku v kroku $n+1$.

Rovnice (3.13) je podmíněně stabilní, to znamená, že proto, aby bylo řešení přesné a stabilní, musí být splněna CFL (Courant-Friedrichs-Lewy) podmínka kritického časového kroku.

$$\Delta t < t_c \quad (3.17)$$

Přičemž:

$$t_c = \frac{h}{\sqrt{\frac{E}{\rho}}} = \frac{h}{c} \quad (3.18)$$

Kritický časový krok t_c je možno charakterizovat jako dobu průchodu napěťové vlny nejmenším elementem sítě.

V softwaru ANSYS Workbench je kritický časový krok t_c navíc vynásoben bezpečnostním faktorem f , aby byla zajištěna větší stabilita výpočtu. Standardně je bezpečnostní faktor nastaven na hodnotu 0,9.

$$t_c = f \cdot \left(\frac{h}{c} \right) \quad (3.19)$$

Z toho je zřejmé, že u explicitní numerické metody především záleží na rozměrech sítě. Časový interval vyšetřovaný explicitní numerickou metodou je rozdělen na mnohem více časových kroků než u implicitní numerické metody. Řešení těchto časových kroků je však mnohem rychlejší než u implicitní metody. Jelikož je časový interval rozdělen na velmi malé časové kroky, nejsou prováděny iterace uvnitř každého časového kroku. (7), (8), (9)

3.2. Možnosti softwaru v prostředí ANSYS Workbench

Software ANSYS nabízí uživatelům platformy Workbench široké spektrum možností, jak řešit úlohy explicitní metodou. Budou vyjmenovány pouze ty nejznámější.

3.2.1. ANSYS Explicit STR

ANSYS Explicit STR (structural) je modul integrovaný přímo do prostředí Workbench. Tento modul je jakousi vstupní bránou do světa explicitní dynamiky v softwaru ANSYS. Je velice jednoduchý na ovládání a uživatelé, kteří již někdy používali ANSYS Workbench s ním nebudou mít problém. ANSYS Explicit STR může být kombinován s řadou dalších modulů a lze tedy vytvořit i multi-fyzikální úlohu. Je schopen vyřešit nárazové a pádové úlohy, vysoce nelineární plastickou ztrátu stability, úlohy s porušením materiálu apod. K řešení používá řešič Autodyn. (10)

3.2.2. ANSYS Autodyn

Je součástí softwaru ANSYS Workbench jako samostatný modul, avšak uživatelské prostředí není shodné s klasickým rozhraním, jak ho uživatelé znají. Pro efektivní používání tohoto modulu je nutno prostudovat dokumentaci k němu určenou, jelikož jeho ovládání a nastavení již není tak jednoduché jako v případě ANSYS Explicit STR. Původně byl tento produkt vyvinut pro armádní účely a měl pomoci při navrhování a zlepšování různých ochranných prvků. Nejčastěji byl používán pro simulování výbuchů raketových střel, granátů, výbušných zařízení a jiných hrozeb. Dále je možno simulovat nárazy vesmírných trosk, ale i běžné průstřely, nárazy či pády. Modul ANSYS Autodyn lze také zahrnout do multi-fyzikálních úloh. Již z názvu vyplývá, že řešič je Autodyn. (11)

3.2.3. ANSYS LS-DYNA

Uživatelé, kteří mají přístup k licenci LS-DYNA si mohou dodatečně do ANSYSu Workbench přidat tzv. „add-in“ modul ANSYS LS-DYNA ze zákaznického portálu. Tento modul kombinuje ovládání v prostředí Ansys Workbench a výhody softwaru LS-DYNA. Vznikl ve spolupráci firem ANSYS a Livermore Software Technology na popud zákazníků, kteří se nechtěli učit ovládání v prostředí LS-DYNA. Řešičem je zde LS-DYNA.

Mimo jiné existuje možnost využít přímo prostředí LS-DYNA, které je dodáváno s ANSYSEM jako samostatná aplikace, ale je nutné ji nainstalovat.

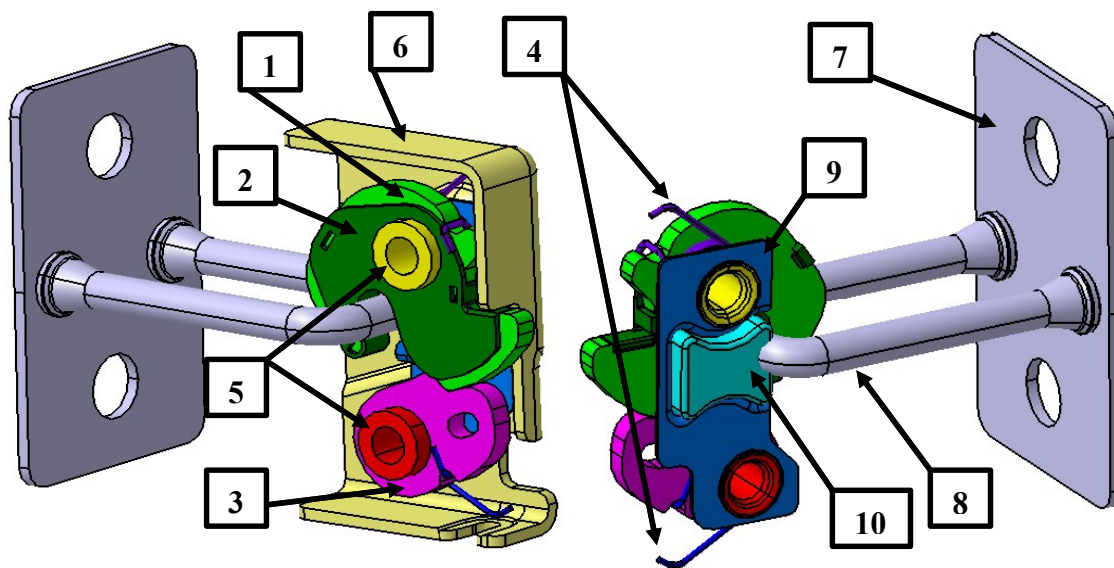
4. Model zámku zadních sedadel

Kompletní model zámku zadních sedadel pro zpracování analýzy byl poskytnut zadavatelem. Model byl vytvořen v CAD softwaru CATIA. Z obrázků a popisů v následujících kapitolách je zřejmý rozdíl mezi kompletním a zjednodušeným modelem zámku zadních sedadel.

4.1. Kompletní zámek zadních sedadel

Kompletní zámek zadních sedadel se skládal z následujících součástí (viz Obr. 19):

- 1) Rohatka
- 2) Plastový kryt rohatky
- 3) Západka
- 4) Zkrutné pružiny
- 5) Čepy
- 6) Základní deska
- 7) Deska třmenu
- 8) Třmen
- 9) Deska pro doraz
- 10) Doraz
- 11) Distanční kroužky (nejsou viditelné na Obr. 19)



Obr. 19 CAD model zámku zadních sedadel

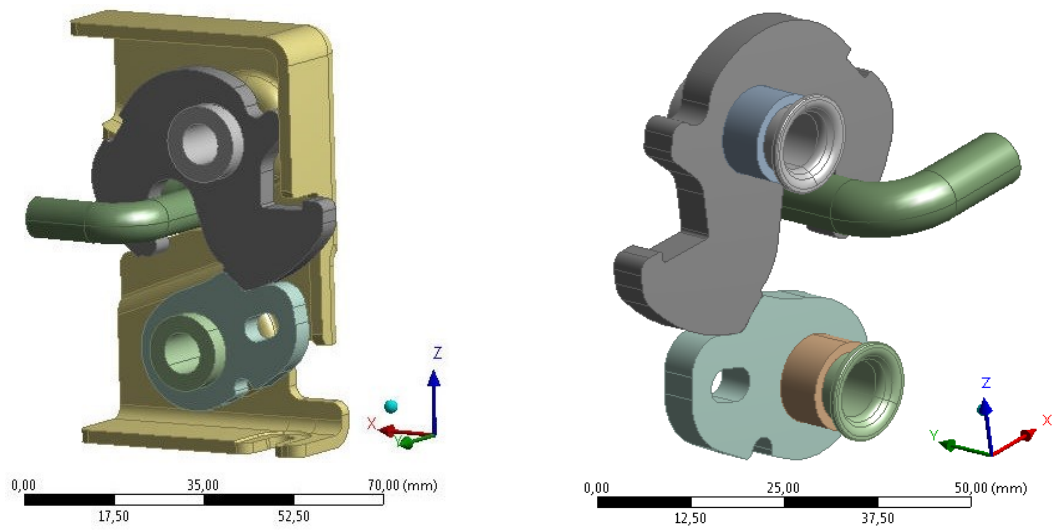
4.2. Zjednodušený model zámku zadních sedadel použitý v analýze

Ve FEM analýze samozřejmě nebylo třeba uvažovat všechny součásti zámku zadních sedadel. V zámku byly zahrnuty pouze ty součásti, které měly podstatný vliv na jeho pevnost.

V konečno-prvkovém modelu nebyly použity tyto součásti zámku zadních sedadel:

- Plastový kryt rohatky
- Zkrutné pružiny
- Deska třmenu
- Deska pro doraz
- Doraz

Kompletní model zámku zadních sedadel poskytnutý zadavatelem byl importován do prostředí ANSYS Workbench ve formátu STEP a byly na něm prováděny další úpravy. Byly zanedbány nepodstatné součásti zámku uvedené výše. Třmen byl zkrácen.



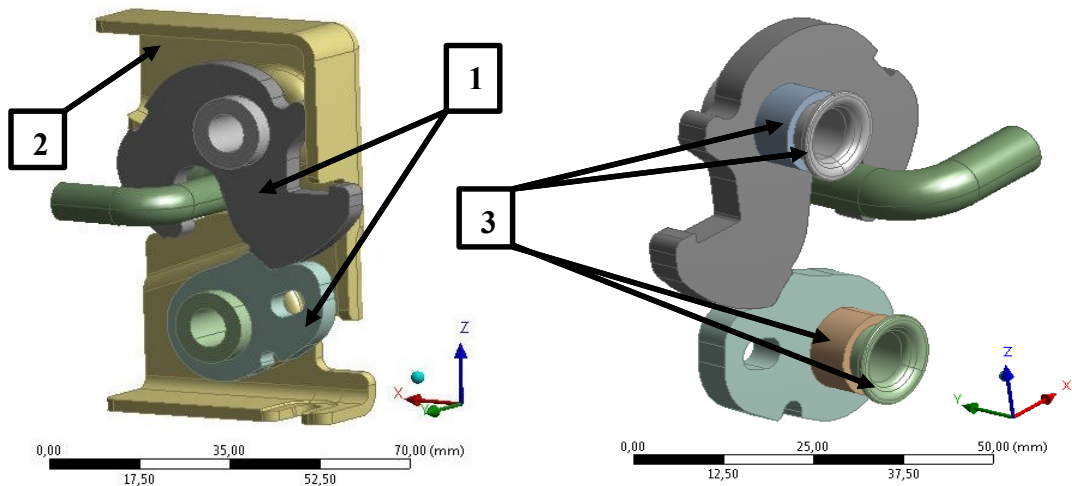
Obr. 20 Zjednodušený model zámku zadních sedadel použitý ve FEM analýze

4.3. Materiálové modely zámku zadních sedadel

V konečno-prvkovém modelu byly použity tři typy materiálů. Všem součástem zámku zadních sedadel byl přiřazen izotropní multi-lineární materiálový model.

Použité materiálové modely byly tyto (přiřazení viz Obr. 21):

- 1) C45E43HRC
- 2) S420MC
- 3) 11SMn30

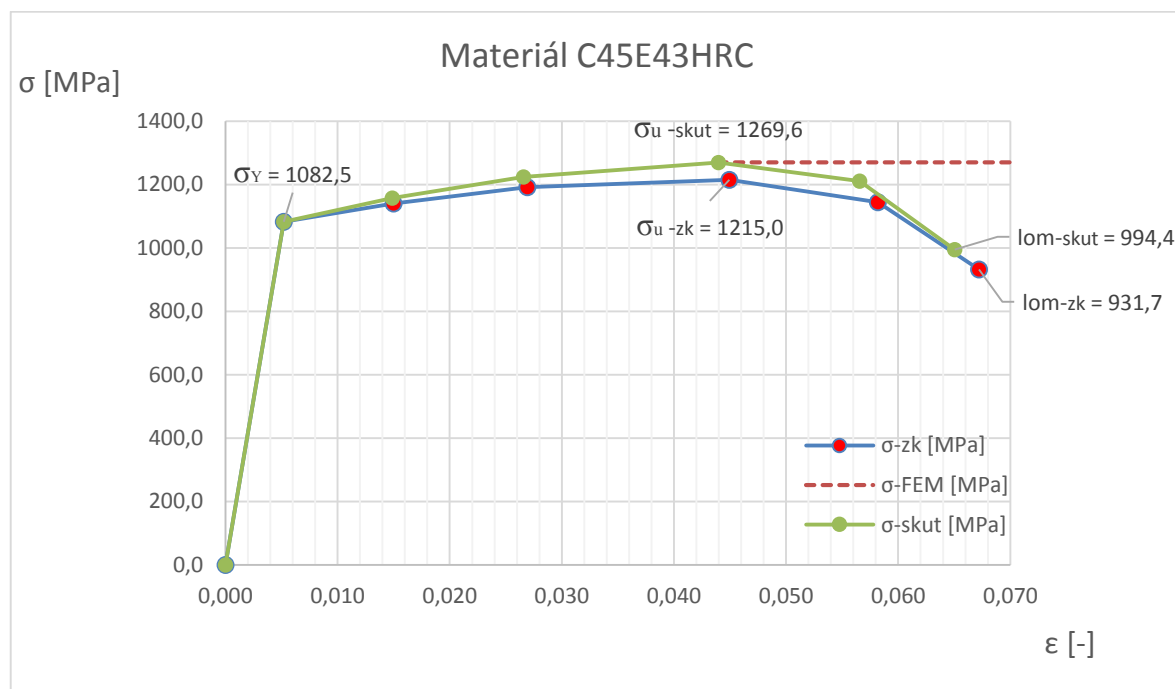


Obr. 21 Přiřazení materiálových modelů jednotlivým součástem zámku zadních sedadel

4.3.1. Materiál C45E43HRC

Tento materiál byl v konečno-prvkovém modelu zámku zadních sedadel přiřazen rohatce a západce. Je to konstrukční ocel vhodná k zušlechťování. Tato ocel byla zakalena na tvrdost 43 HRC. Z grafu tahové zkoušky (viz Graf 1) poskytnutého zadavatelem byl vytvořen izotropní multi-lineární materiálový model.

Graf 1 Materiál přiřazený rohatce a západce



Tab. 1 Hodnoty získané z tahové zkoušky materiálu C45E43HRC

$\epsilon - zk [-]$		$\sigma - zk [MPa]$
	<i>Poměrné prodloužení z tahové zkoušky</i>	<i>Hodnoty napětí z tahové zkoušky</i>
1.	0,000	0,0
2.	0,0052	1082,5
3.	0,015	1139,841
4.	0,027	1191,867
5.	0,045	1215,0
6.	0,058	1144,57
7.	0,067	931,737

Tab. 2 Skutečné hodnoty přepočítané z tahové zkoušky materiálu C45E43HRC

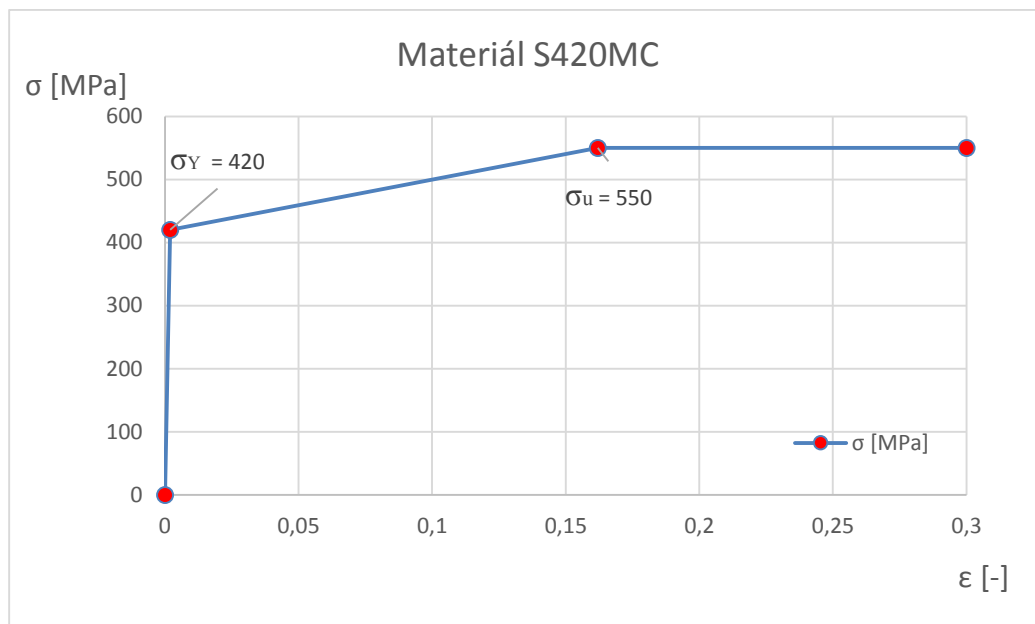
	$\varepsilon - skut [-]$	$\sigma - skut [MPa]$	$\sigma - FEM [MPa]$
	<i>Skutečné poměrné prodloužení</i>	<i>Hodnoty skutečného napětí</i>	<i>Hodnoty napětí použité ve FEM analýze</i>
1.	0,0000	0,0	0,0
2.	0,0052	1082,5	1082,5
3.	0,0149	1156,9	1156,9
4.	0,0266	1224,0	1224,0
5.	0,0440	1269,6	1269,6
6.	0,0566	1211,2	1269,6
7.	0,0650	994,3	1269,6

Tab. 3 Podstatné mechanické vlastnosti materiálu C45E43HRC

Označení	Jednotka	Význam	Hodnota
E	MPa	Youngův modul pružnosti	210 000
μ	-	Poissonova konstanta	0,3
A	%	Tažnost	6
σ_Y	MPa	Mez kluzu	1082,5
σ_u	MPa	Mez pevnosti	1269,6
ρ	kg.m ⁻³	Měrná hmotnost	7850

4.3.2. Materiál S420MC (EN 10149-2)

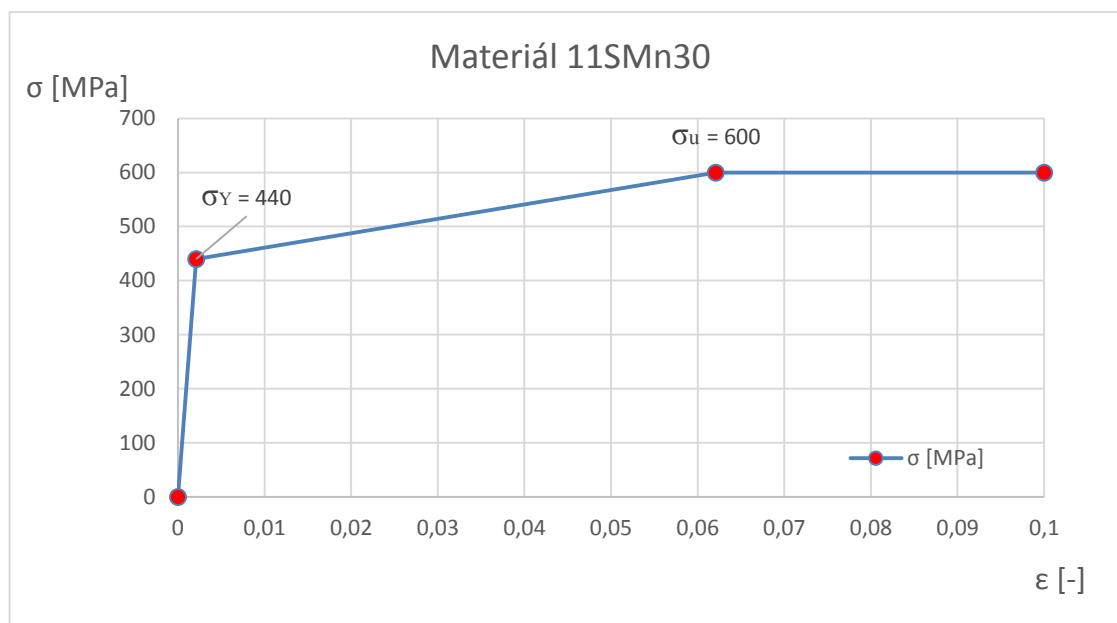
Druhý materiál použitý v modelu zámku zadních sedadel byl přiřazen pouze základní desce. Opět byl vytvořen izotropní multi-lineární materiálový model, avšak pouze se dvěma větvemi v plastické části.

Graf 2 Materiál přiřazený základní desce**Tab. 4** Podstatné mechanické vlastnosti materiálu S420MC (12)

Označení	Jednotka	Význam	Hodnota
E	MPa	Youngův modul pružnosti	210 000
μ	-	Poissonova konstanta	0,3
A	%	Tažnost	16
σ_Y	MPa	Mez kluzu	420
σ_u	MPa	Mez pevnosti	550
ρ	kg.m ⁻³	Měrná hmotnost	7850

4.3.3. Materiál 11SMn30 (EN 10277-3)

Posledním materiálem použitým v konečno-prvkovém modelu zámku zadních sedadel byla ocel 11SMn30. Byl zvolen stejný materiálový model jako u předchozích dvou materiálů.

Graf 3 Materiál přiřazený čepům a distančním kroužkům**Tab. 5** Podstatné mechanické vlastnosti materiálu 11SMn30 (13)

Označení	Jednotka	Význam	Hodnota
E	MPa	Youngův modul pružnosti	210 000
μ	-	Poissonova konstanta	0,3
A	%	Tažnost	6
σ_Y	MPa	Mez kluzu	440
σ_u	MPa	Mez pevnosti	600
ρ	kg.m ⁻³	Měrná hmotnost	7850

4.3.4. Nadeřinování multi-lineárního materiálového modelu v softwaru ANSYS Workbench

Při vytváření tohoto typu materiálového modelu je nejprve nutno zadat fyzikální a lineární elastické vlastnosti materiálu. Poté je možno definovat plastickou část materiálového modelu. Pro zadání plastického chování materiálu je zde několik modelů, zřejmě nejčastěji se používá bilineární a multi-lineární zpevnění.

Multi-lineární zpevnění se zadává vcelku jednoduše do tabulky, každé poměrné deformaci se přiřadí odpovídající hodnota napětí. Jakmile je však zadána např. mez

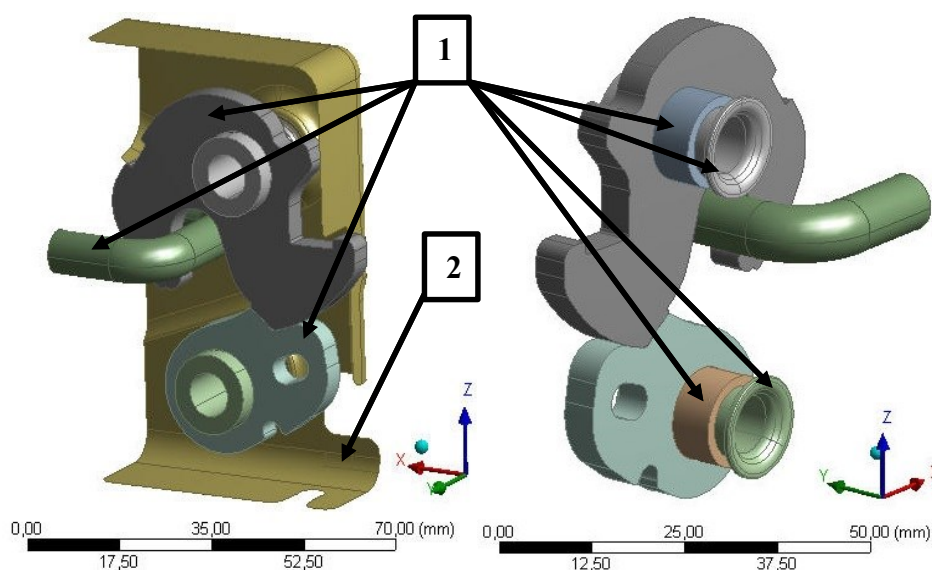
pevnosti materiálu σ_u , není možno se dostat pod tuto hodnotu. Tím se myslí, že nelze kompletně zadat skutečnou tahovou křivku. Jak je zřejmé z chování klasických tažných kovových materiálů, po dosažení meze pevnosti σ_u dojde k přírůstku poměrné deformace ε , ale úbytku napětí σ . Poté dojde k lomu.

V softwaru ANSYS Workbench je však možno zadat konstantní funkci. Takto byly vytvořeny výše zmíněné materiálové modely (viz 4.3.1., 4.3.2. a 4.3.3.). Rozdíl mezi skutečnou tahovou křivkou a křivkou zadanou v softwaru je patrný z Graf 1.

4.3.5. Použité typy elementů v konečno-prvkovém modelu

V konečno-prvkovém modelu zámku zadních sedadel byly použity následující typy elementů:

- 1) Šestistěnný, pětistěnný element
- 2) Čtvercový, trojúhelníkový skořepinový element

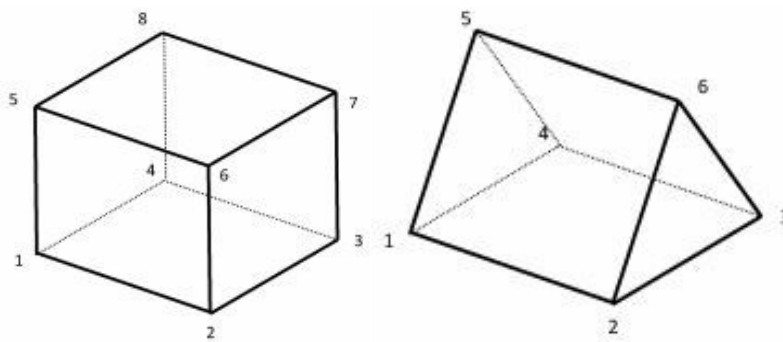


Obr. 22 Přiřazení typů elementů k jednotlivým součástem zámku zadních sedadel

4.3.5.1. Šestistěnný, pětistěnný element

Šestistěnné elementy jsou preferovány pro řešení úloh explicitní numerickou metodou. Jedná se o osmiuzlové elementy s redukovanou integrací. Tyto elementy se hodí především pro řešení tranzientních dynamických úloh obsahující velká přetvoření, velké rotace a kontaktní podmínky. U těchto elementů může dojít ke vzniku „hourglass“ módů, z tohoto důvodu je potřeba jejich tlumení.

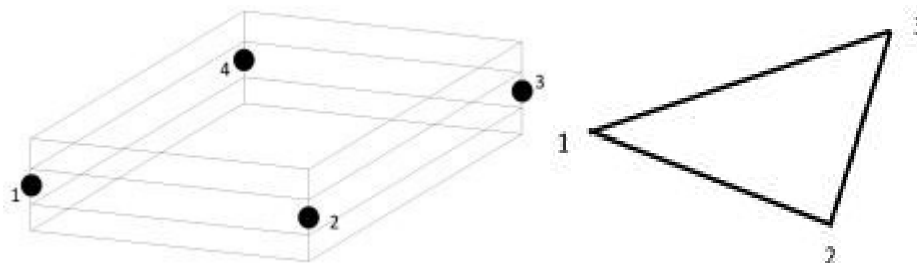
Další element použitý při tvorbě konečno-prvkové sítě byl pětistěnný element. Tento element má šest uzlů a je to vlastně vyplňující element sítě tvořené především šestistěnnými elementy. (14)



Obr. 23 Šestistěnný a pětistěnný element (zleva) (14)

4.3.5.2. Čtvercový, trojúhelníkový skořepinový element

Jedná se o bilineární skořepinové elementy. Konečno-prvková skořepinová síť je především tvořena čtyřuzlovými elementy. Tříuzlové elementy vyplňují místa v síti, kde nebylo možno použít čtyřuzlové elementy. (14)



Obr. 24 Čtvercový a trojúhelníkový skořepinový element (zleva) (14)

4.3.6. Chování jednotlivých součástí zámku zadních sedadel v konečno-prvkovém modelu z hlediska tuhosti

V konečno-prvkovém modelu zámku zadních sedadel byly použity následující tuhostní vlastnosti součástí:

- 1) Tuhý (Rigid)
- 2) Pružný (Flexible)

Vyjma třmenu, bylo všem součástem nadefinováno pružné chování.

5. Analýza zámku zadních sedadel zjištěná pomocí explicitní numerické metody

Jak už bylo řečeno, zámky zadních sedadel se nejčastěji v praxi fyzicky testují na trhacích strojích. Avšak drtivá většina automobilových výrobců požaduje, aby byla zpracována FEM analýza explicitní numerickou metodou.

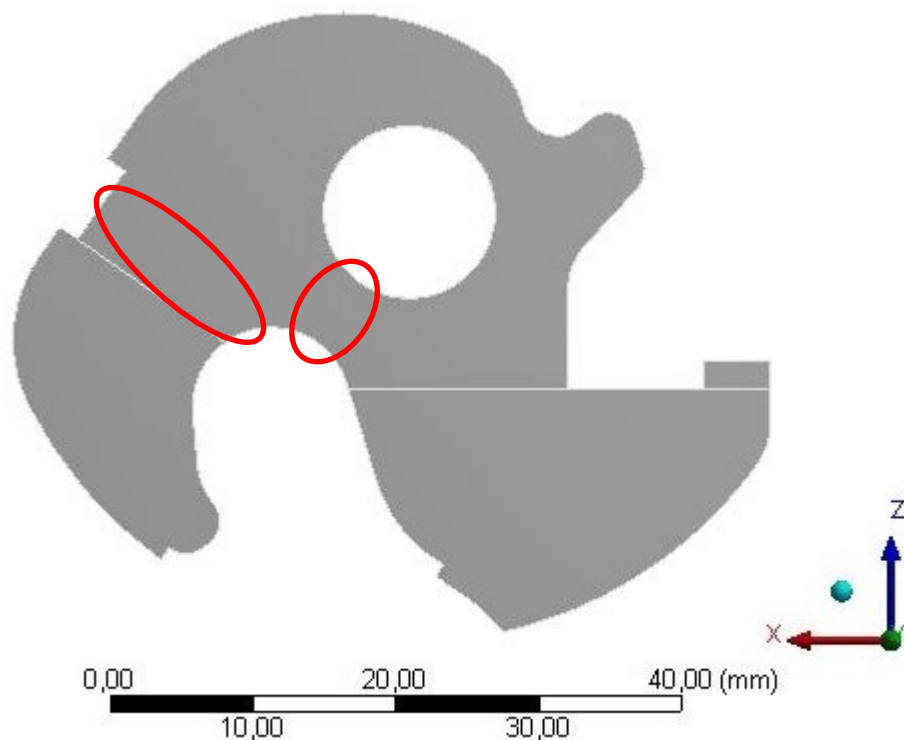
Důvodem tohoto požadavku je zjištění deformačního a napětového stavu zámku zadních sedadel při crash testu automobilu. Výrobci automobilů si pak takto analyzované zámky vkládají do vlastních modelů sestav sedadel či celých automobilů. Samozřejmě modely zámků zadních sedadel obsažené v kompletním modelu automobilu nejsou tak podrobné, jako když se analyzuje zámek samostatně. Avšak zjišťuje se, zda zámek pevnostně vyhoví v obou případech.

Automobiloví výrobci používají nejčastěji k simulaci crash testů software LS-DYNA popř. PAM-CRASH. V této diplomové práci byl použit software ANSYS Workbench a jeho modul Explicit Dynamics STR (viz kapitola 3.2.1.), který je určen pro řešení rychlých dynamických dějů.

5.1. Postup při analýze

Z uložení zámku je patrné, že kritickou součástí zámku zadních sedadel je rohatka, protože při nárazu dochází k její přímé interakci se třmenem. Ze zkoušek na trhacím stroji bylo zjištěno, že nejčastěji dochází k porušení rohatky v místě nejužšího průřezu kolem

čepu (viz Obr. 25). Dále dochází k porušení v místě, kde je zachycena zkrutná pružina rohatky (viz Obr. 25).



Obr. 25 Kritická místa porušení rohatky

K analyzování byly použity tři modely a každý tento model byl namáhán ve směrech uvedených na Obr. 17 (viz kapitola 2.5.1.). Analyzovány byly tyto modely:

- 1) Rohatka
- 2) Rohatka se západkou uložená v čepích
- 3) Zjednodušený zámek zadních sedadel přichycený šrouby v čepích

Důvodem zanalyzování těchto tří odlišných modelů bylo porovnat, jak se projeví rozdíly v uložení rohatky, přičemž jako nejreálnější se jeví varianta 3). Takto bylo i postupováno při seznamování se s explicitní numerickou metodou, tedy od nejjednoduššího k nejsložitějšímu.

5.2. Nastavení analýzy

Všechny analyzované modely měly téměř identické nastavení analýzy.

Tab. 6 Parametry analýzy zámku zadních sedadel

Označení	Jednotka	Význam	Hodnota
v_{trmen}	$mm.ms^{-1}$	Rychlost třmenu	2,3
t	ms	Doba analyzovaného děje	36

Protože byla poloha třmenu řízena deformačně, z hodnot uvedených v Tab. 6 byl vypočítán posuv:

$$s_{trmen} = v_{trmen} \cdot t \quad (5.1)$$

$$s_{trmen} = 2,3 \cdot 36 = 83 \text{ mm} \quad (5.2)$$

Dle dokumentace programu ANSYS Workbench je vhodné nastavit analýzu na základě rychlosti probíhajícího děje.

Tab. 7 Typy nastavení explicitní numerické metody v softwaru ANSYS Workbench (15)

Kontrolováno programem	Efektivnost	Nízká rychlost	Vysoká rychlost	Kvazi-statika
Standardní	Nastavení pro minimální dobu řešení	Doporučené nastavení pro nízké deformace/ rychlosti (<100m/s)	Doporučené nastavení pro velké deformace/rychlosti (>100m/s)	Doporučené nastavení pro kvazistatické simulace

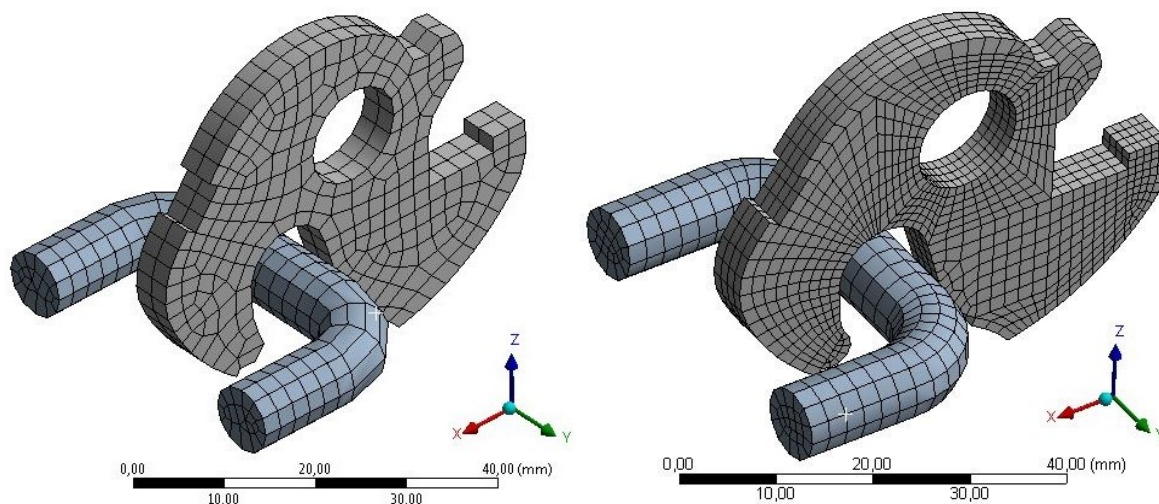
Z Tab. 7 je patrné, že řešený problém spadá do skupiny „Nízká rychlost“, z tohoto důvodu bylo nastavení zachováno podle doporučení použitého softwaru (kompletní nastavení analýzy viz Příloha 1).

5.3. Analýza rohatky

Rohatka byla analyzována se dvěma odlišnými konečno-prvkovými sítěmi. V prvním případě byla vytvořena velmi hrubá síť, v druhém případě byla síť podstatně zjemněna. Dosažené výsledky byly následně porovnány.

5.3.1. Konečno-prvková síť

Konečno-prvková síť vytvořená na rohatce (viz Obr. 26) obsahovala 456 elementů a 834 uzlů v případě hrubé diskretizace, 2656 elementů a 3755 uzlů v případě jemné. Třmen obsahoval 520 elementů a 702 uzlů v modelu s hrubě diskretizovanou rohatkou, v modelu s jemně diskretizovanou rohatkou 396 elementů a 666 uzlů.



Obr. 26 Konečno-prvková síť vytvořená na rohatce a třmenu (hrubá a jemná - zleva)

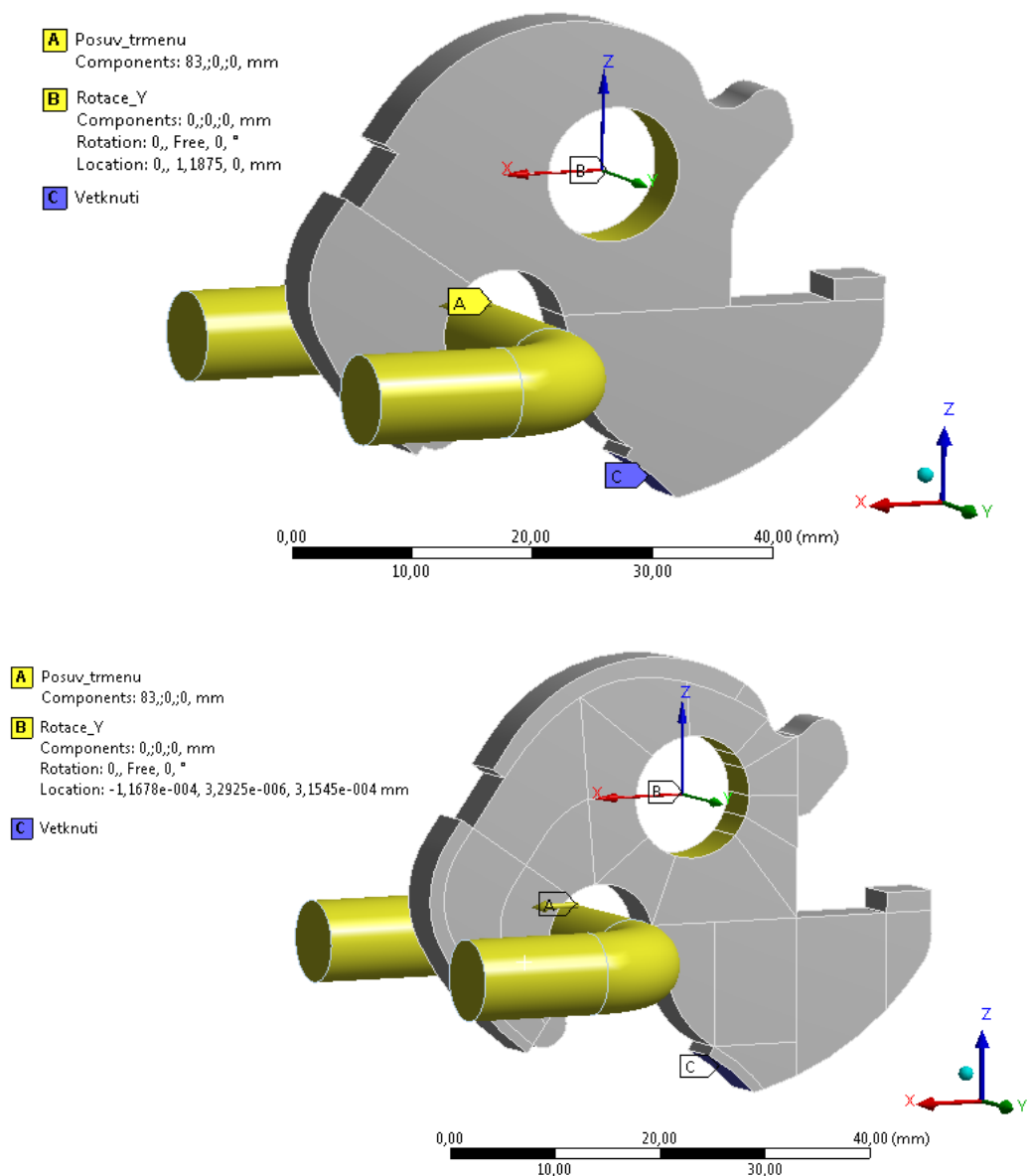
5.3.2. Kontakty

Při analyzování rohatky byly použity kontakty typu „Body Interactions“. Jedná se o kontakty vytvořené mezi všemi tělesy. Byl zvolen typ s dynamickým třecím koeficientem ocel na ocel 0,15.

5.3.3. Okrajové podmínky

Okrajové podmínky byly nastaveny tak, aby se co nejvíce přiblížily skutečnému uložení částí v zámku zadních sedadel.

Třmenu byl nadefinován posuv ve směru osy X (viz rovnice (5.2)). Při zjišťování sil F_2 a F_3 byl směr posuvu třmenu změněn ve směru os Y a Z, ovšem se stejnou hodnotou. Oběma rohatkám byla povolena rotace pouze kolem osy Y. Ploše rohatky, kde dochází ke styku se západkou, bylo přiřazeno vetknutí.



Obr. 27 Okrajové podmínky zadané v modelu rohatky se třmenem

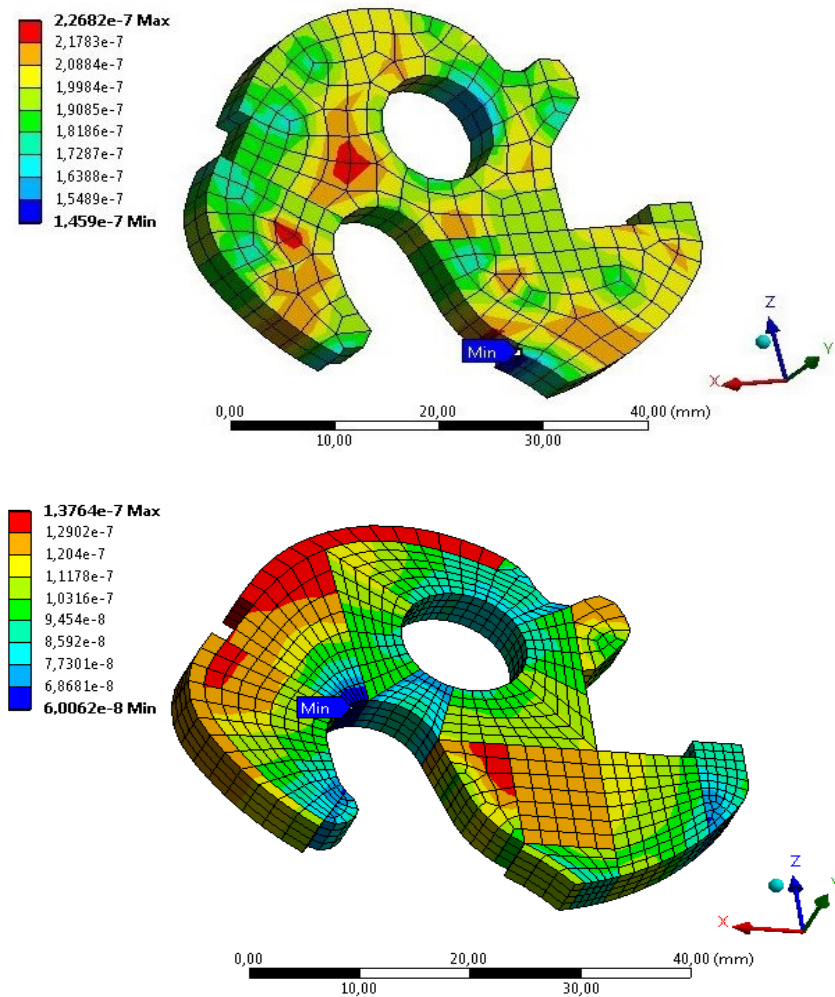
5.3.4. Počáteční kritický časový krok

Z rovnice (3.19) byl vypočítán odhadovaný kritický časový krok pro obě konečno-prvkové sítě rohatky.

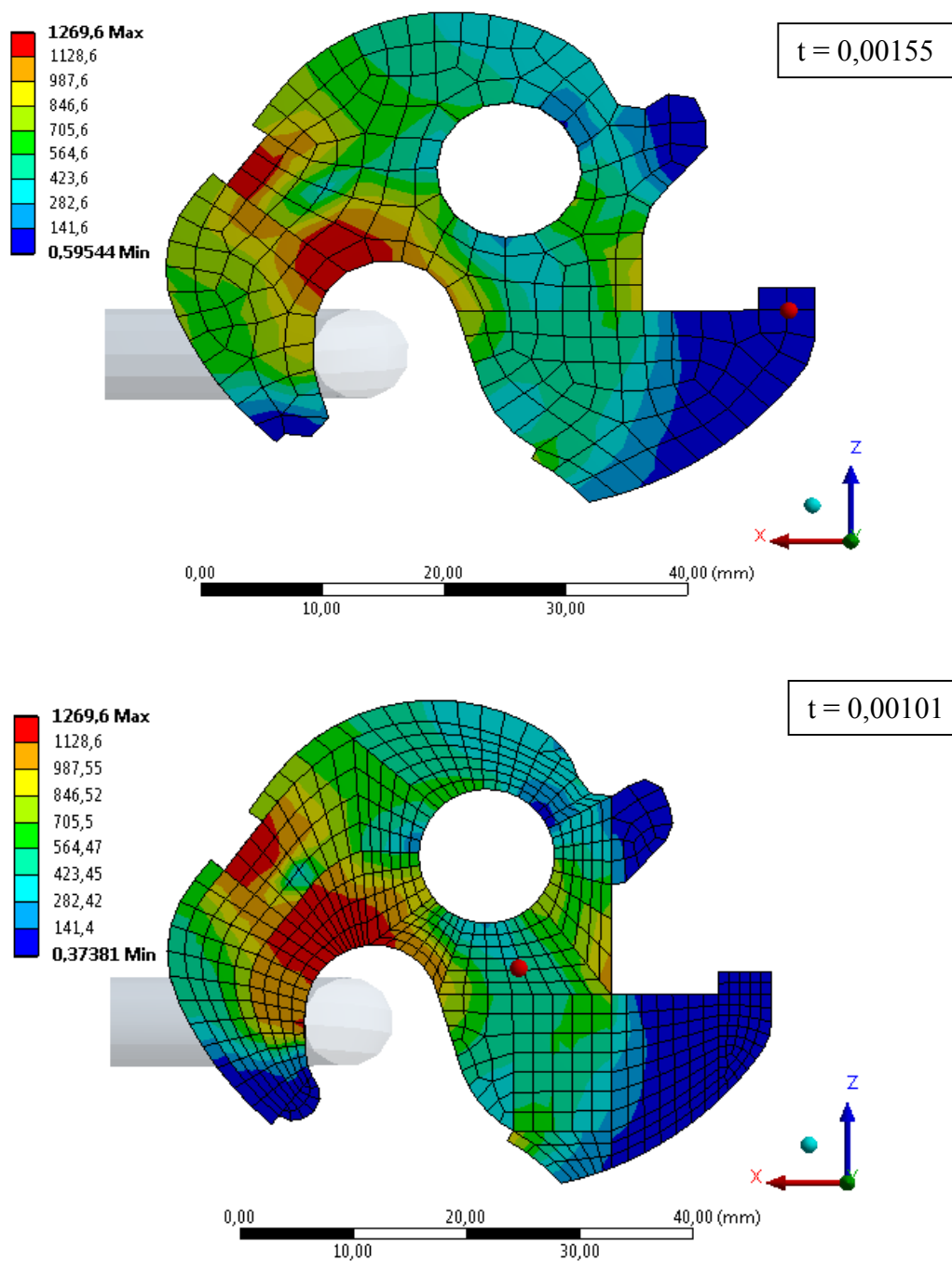
Pro rohatku s hrubou sítí: $t_c = f.(h/\sqrt{E/\rho}) = 0,9.(0,85 \cdot 10^{-3}/\sqrt{2,1 \cdot 10^{11}/7850}) = 1,479 \cdot 10^{-7} \text{ s}$

Pro rohatku s jemnou sítí: $t_c = f.(h/\sqrt{E/\rho}) = 0,9.(0,35 \cdot 10^{-3}/\sqrt{2,1 \cdot 10^{11}/7850}) = 6,090 \cdot 10^{-8} \text{ s}$

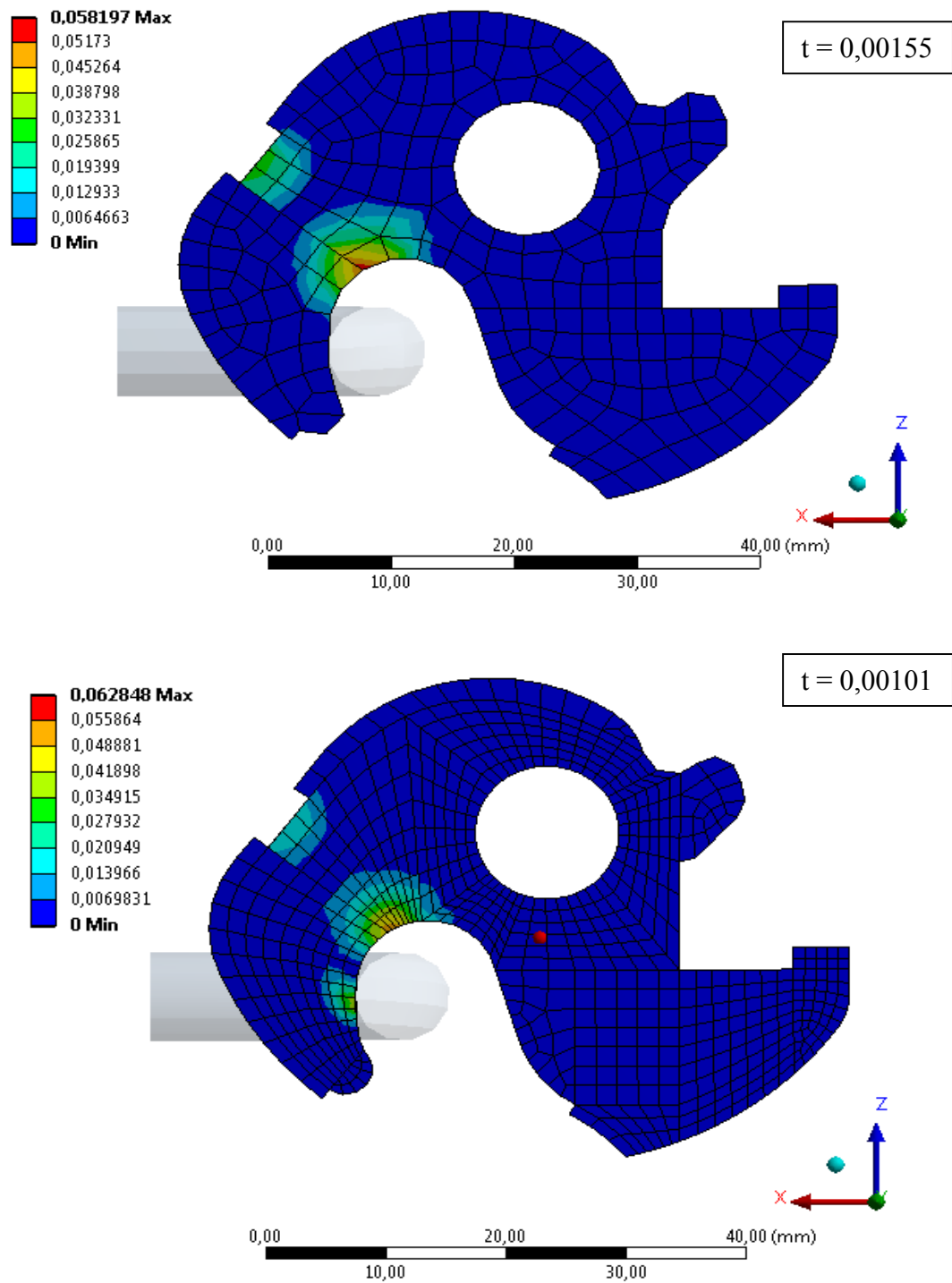
Odhadovaný kritický časový krok byl zkontrolován s kritickým časovým krokem vypočítaným v softwaru.



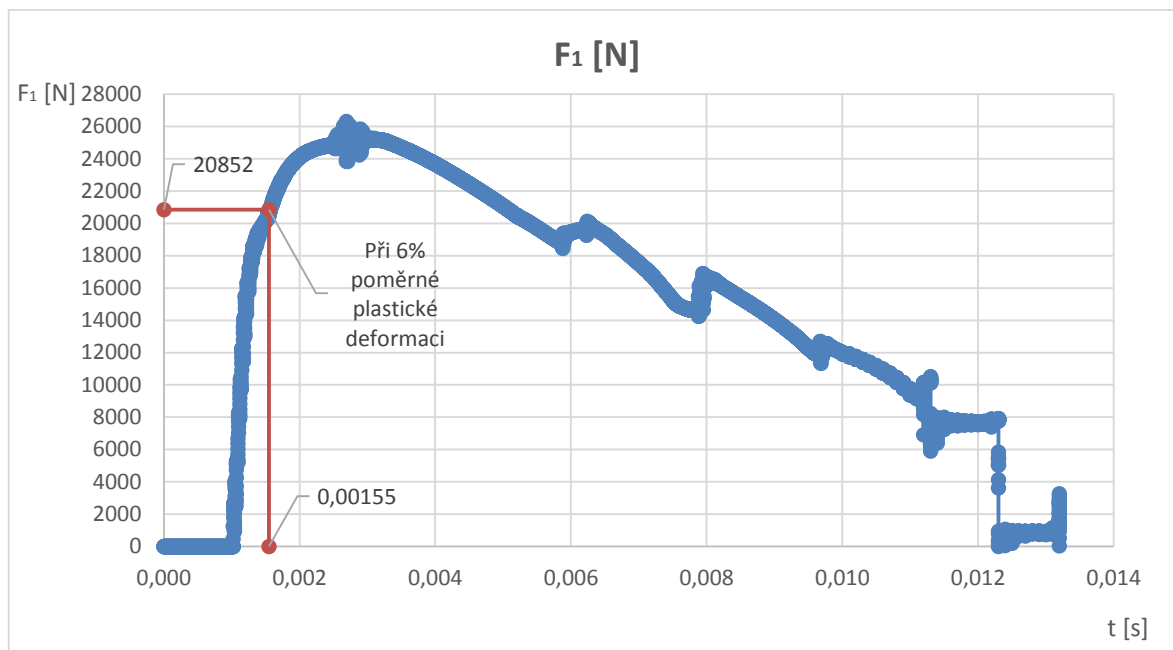
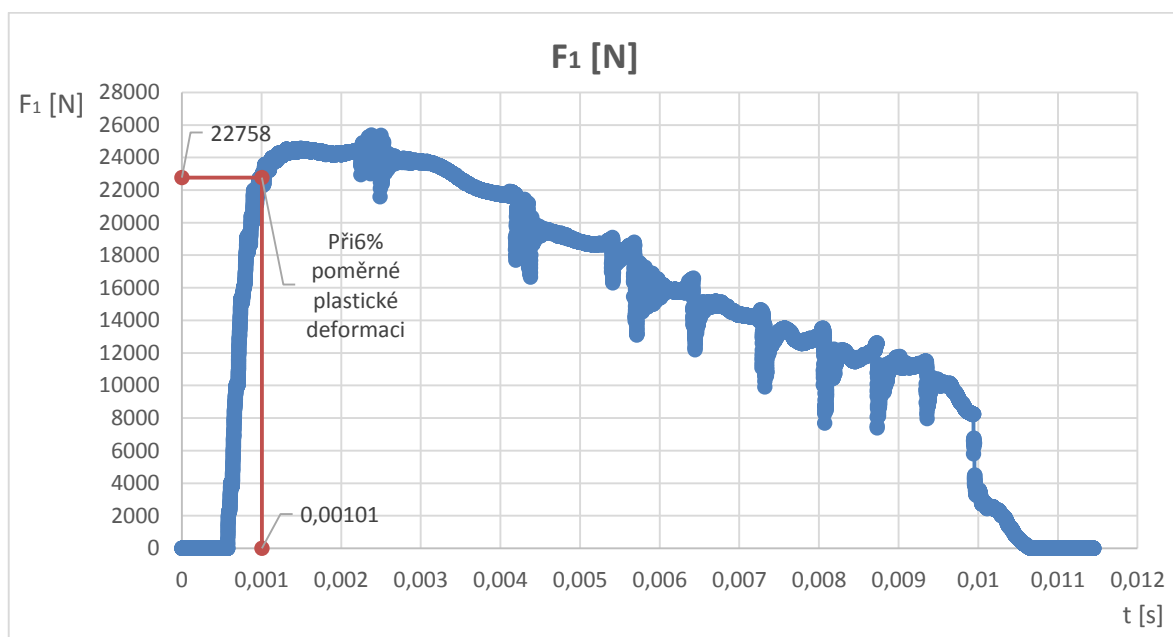
Obr. 28 Počáteční časový krok rohatky [s] (hrubá a jemná síť - shora)

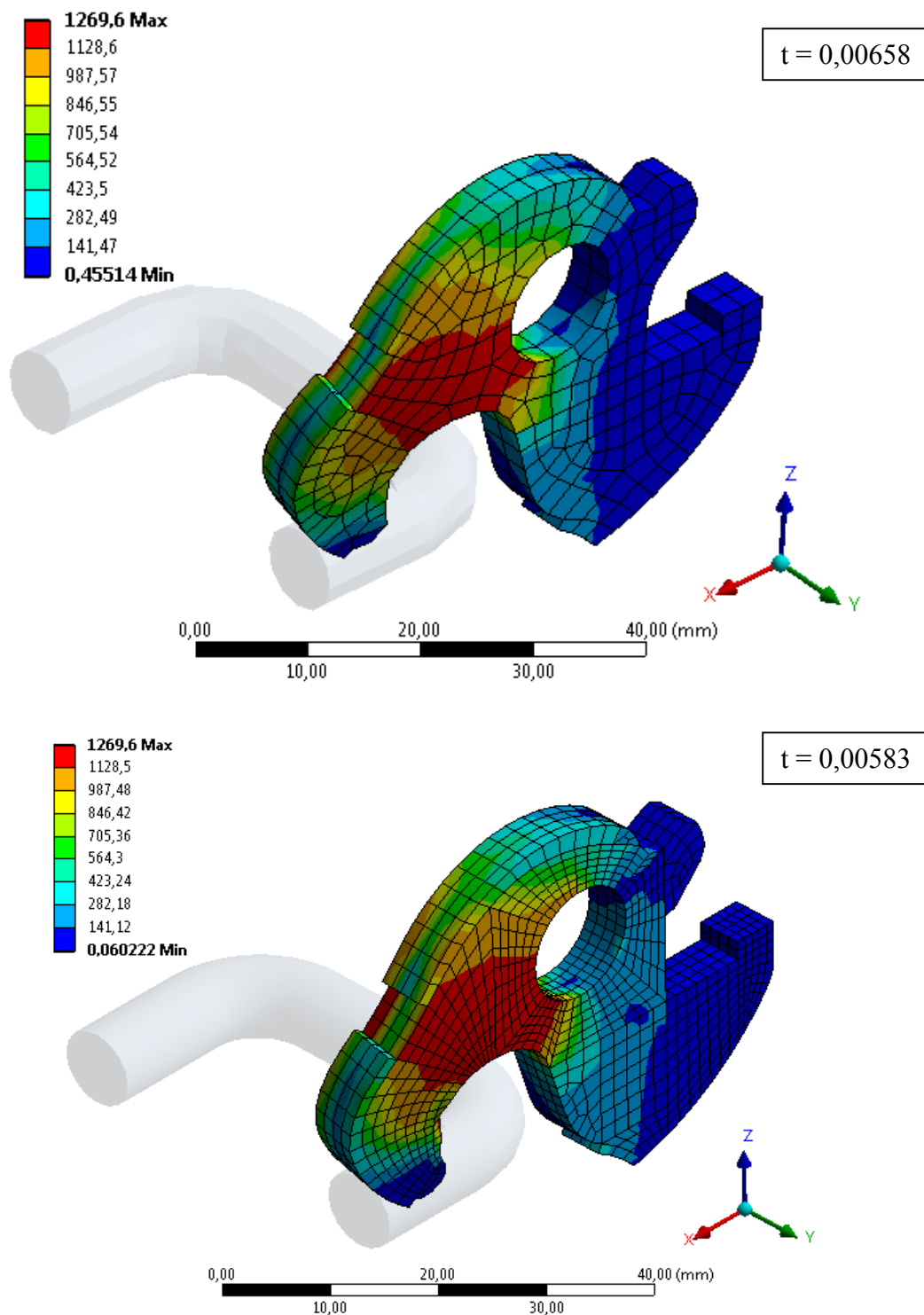
5.3.5. Získané výsledky pro směr působící síly F_1 

Obr. 29 Redukované napětí σ_R^{MH} při 6% poměrné plastické deformaci [MPa] (hrubá a jemná síť - shora)

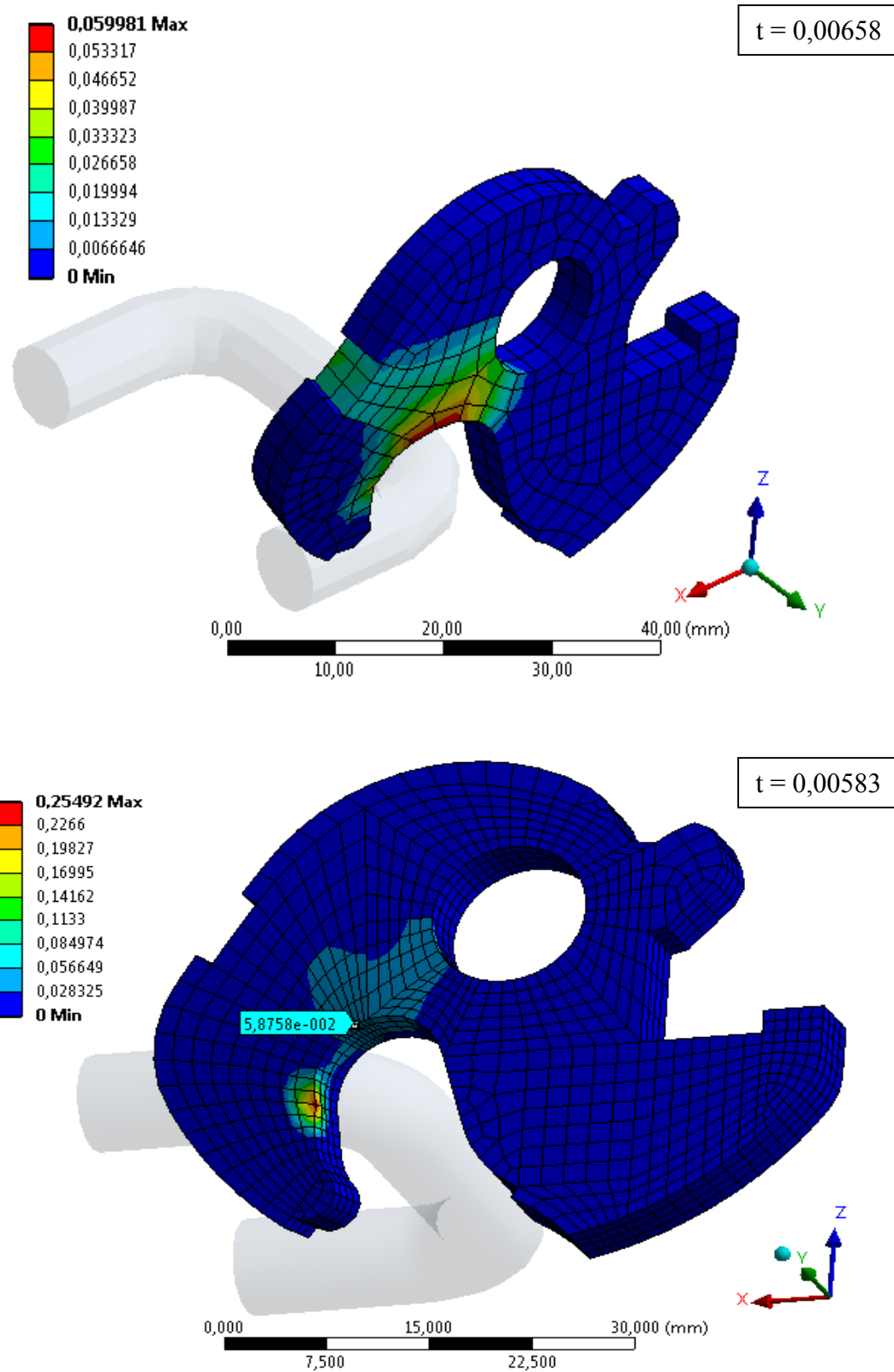


Obr. 30 6% poměrná plastická deformace rohatky [-] (hrubá a jemná síť - shora)

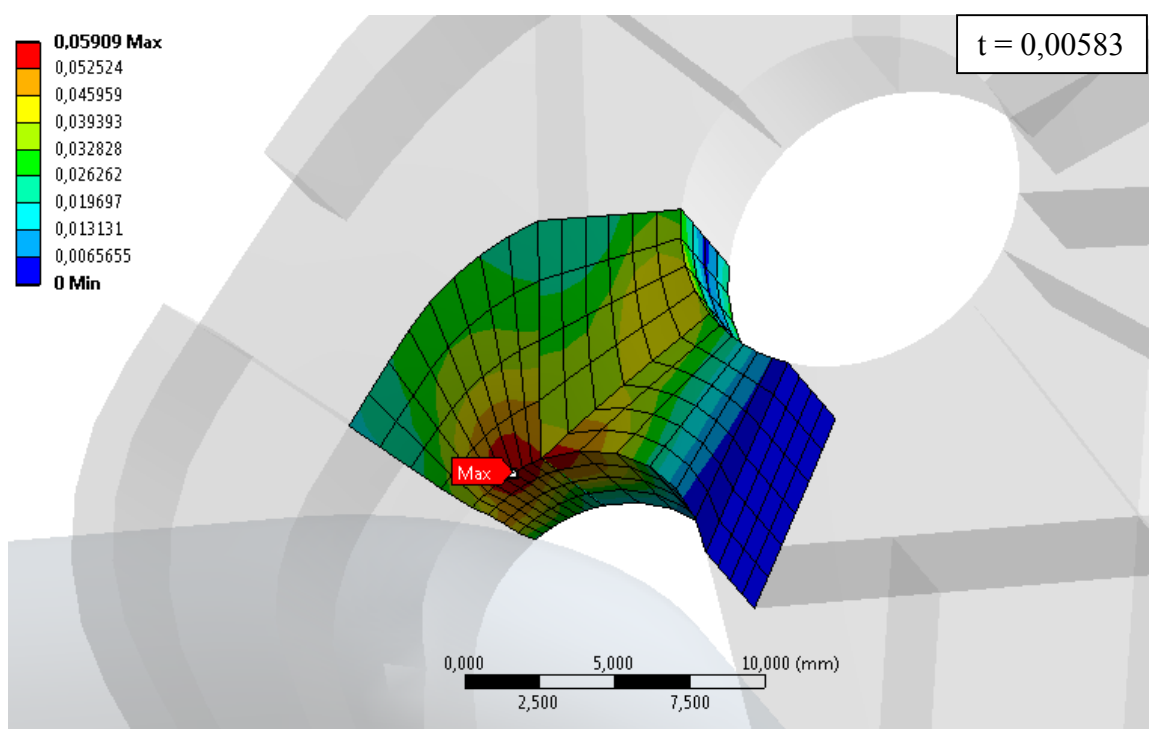
Graf 4 Síla F_1 při 6% poměrné plastické deformaci u rohatky s hrubou konečno-prvkovou sítí**Graf 5** Síla F_1 při 6% poměrné plastické deformaci u rohatky s jemnou konečno-prvkovou sítí

5.3.6. Získané výsledky pro směr působící síly F_2 

Obr. 31 Redukované napětí σ_R^{MH} při 6% poměrné plastické deformaci [MPa] (hrubá a jemná síť - shora)

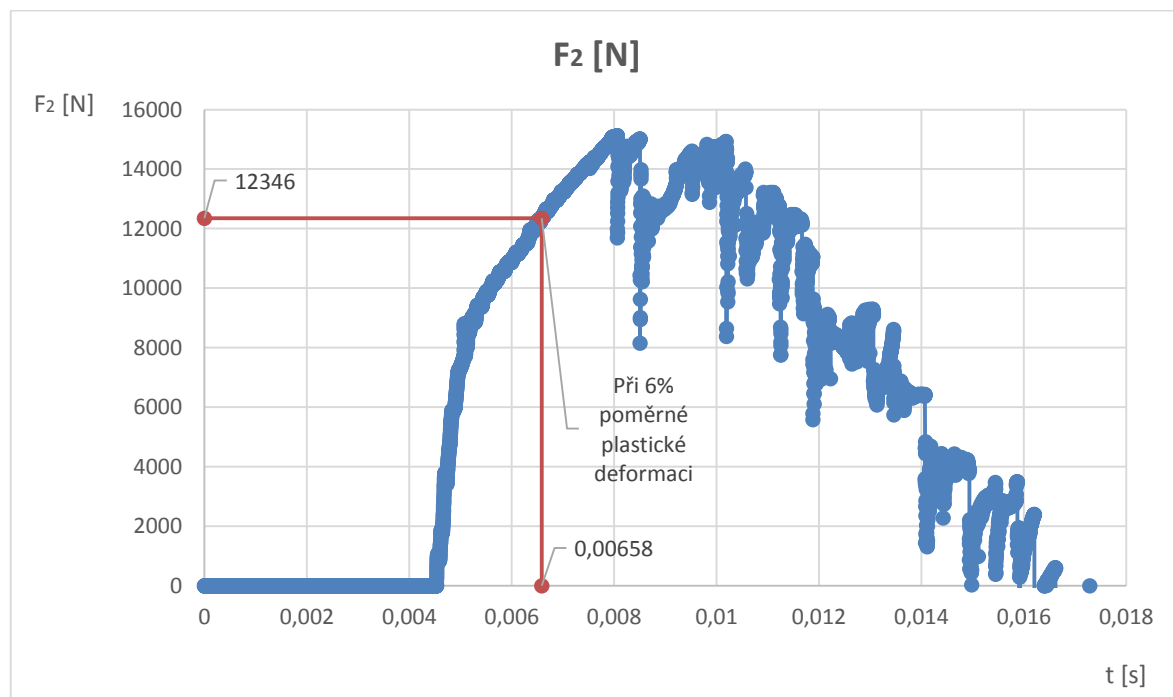


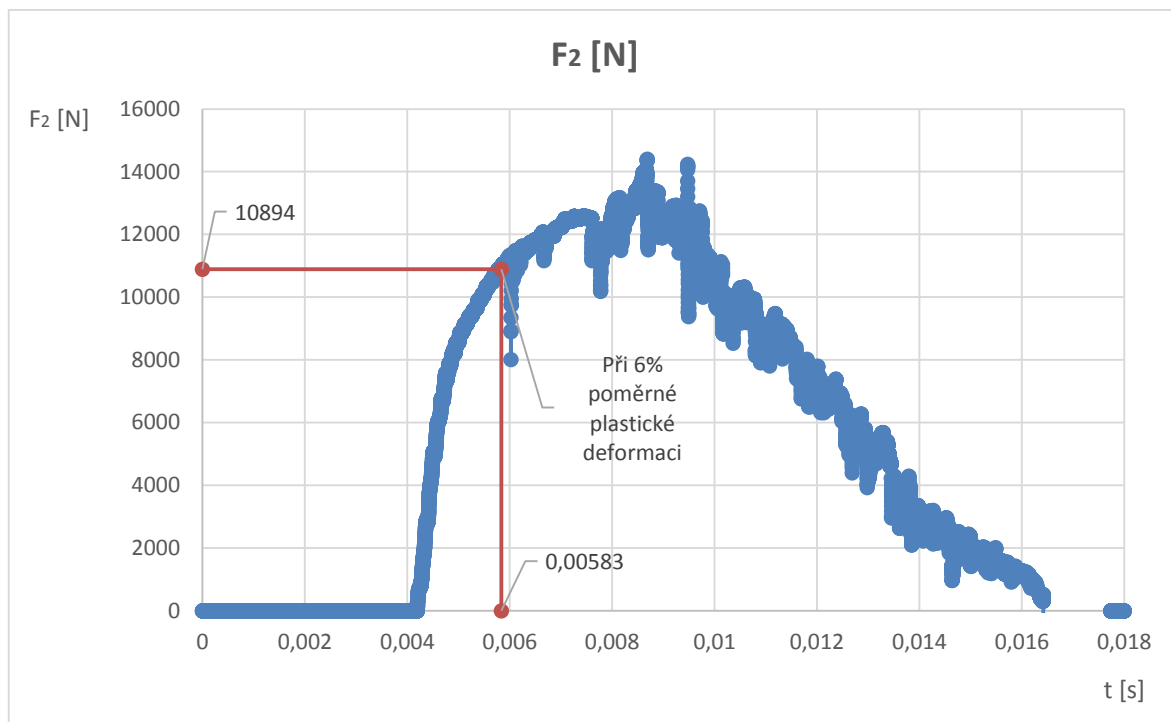
Obr. 32 6% poměrná plastická deformace rohatky [-] (hrubá a jemná síť - shora)

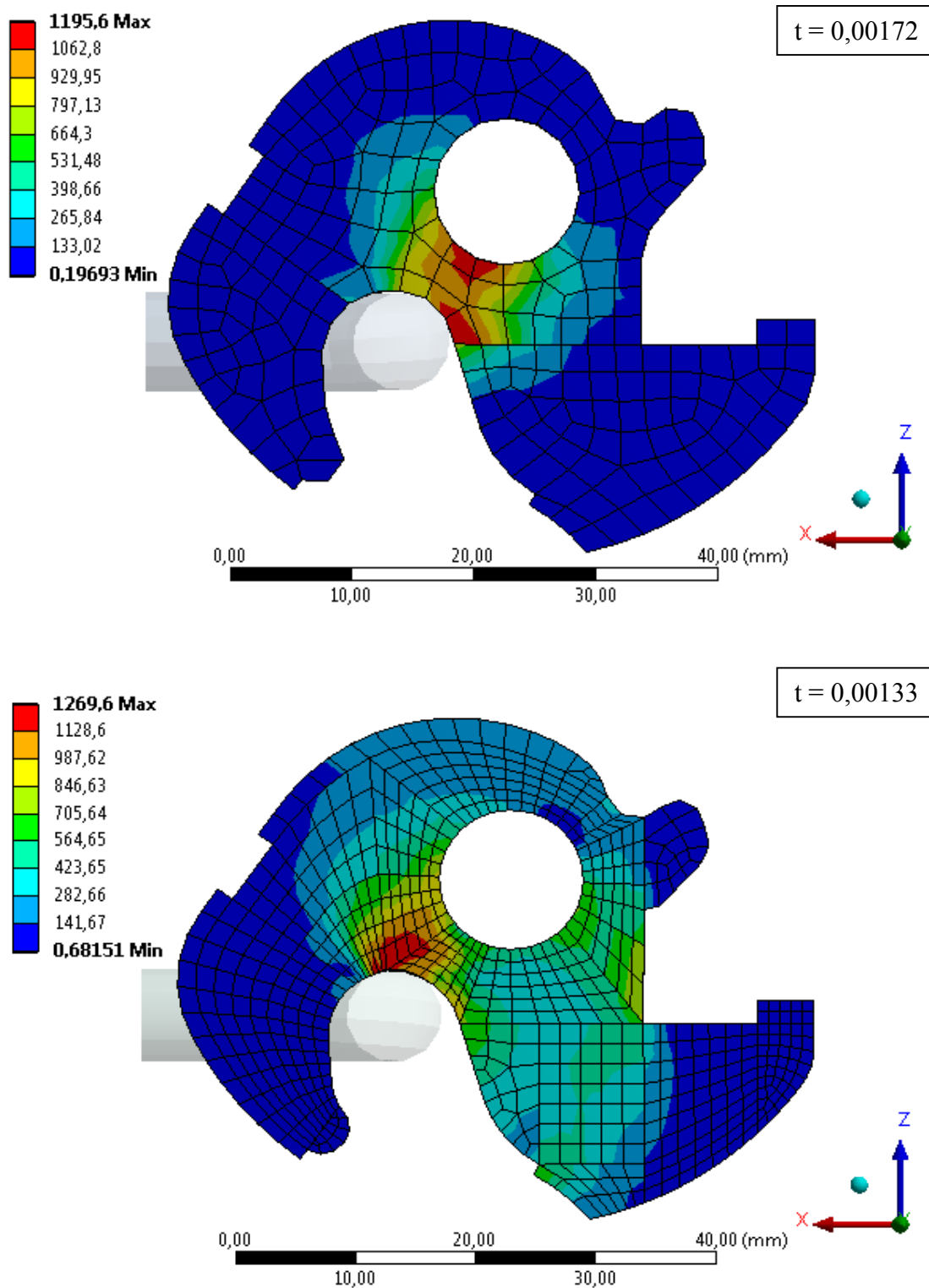


Obr. 33 Detail 6% poměrné plastické deformace rohátky s jemnou sítí v místě kolem čepu [-]

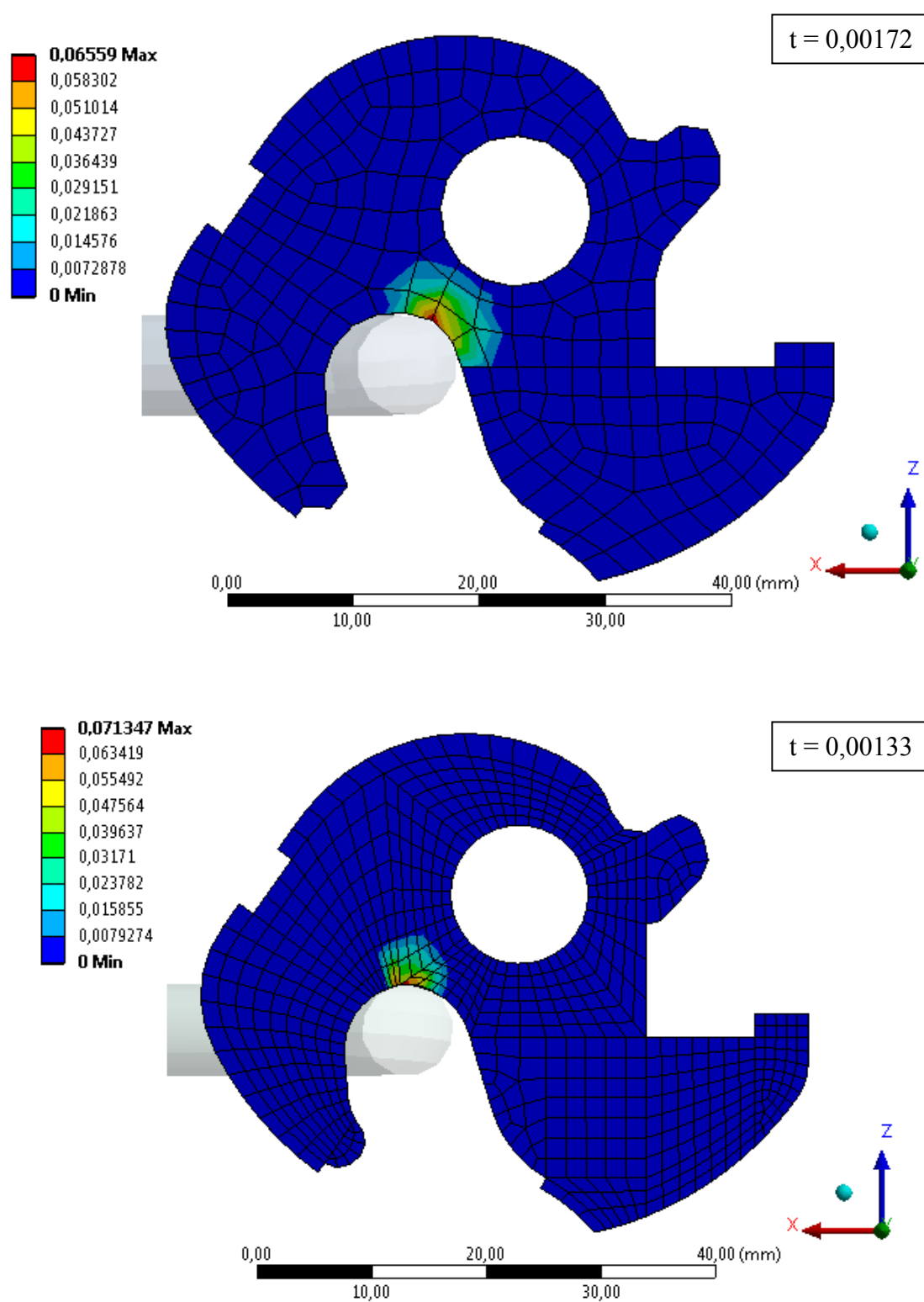
Graf 6 Síla F_2 při 6% poměrné plastické deformaci u rohátky s hrubou konečno-prvkovou sítí



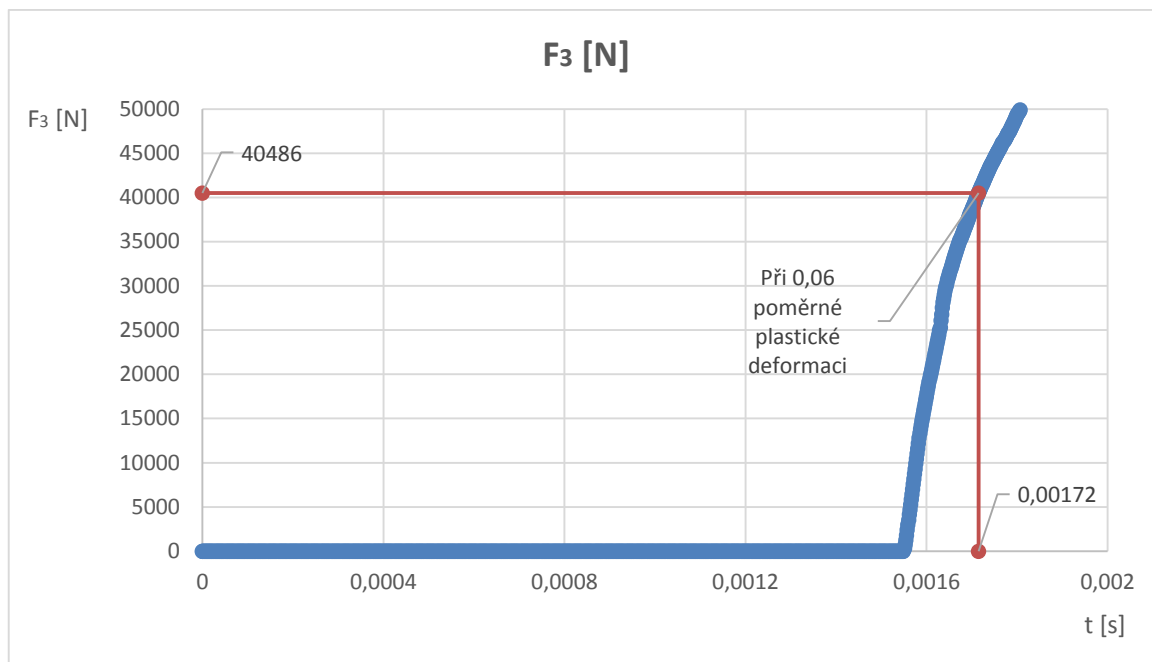
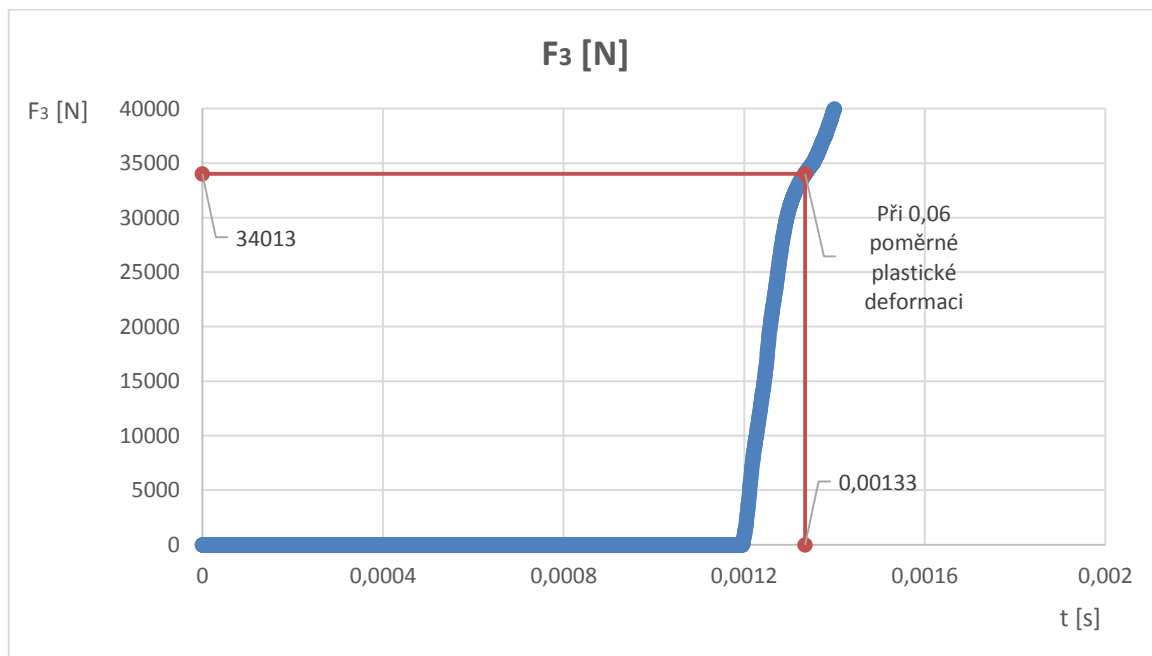
Graf 7 Síla F_2 při 6% poměrné plastické deformaci u rohatky s jemnou konečno-prvkovou sítí

5.3.7. Získané výsledky pro směr působící síly F_3 

Obr. 34 Redukované napětí σ_R^{MH} při 6% poměrné plastické deformaci [MPa] (hrubá a jemná síť - shora)



Obr. 35 6% poměrná plastická deformace rohatky [-] (hrubá a jemná síť - shora)

Graf 8 Síla F_3 při 6% poměrné plastické deformaci u rohatky s hrubou konečno-prvkovou sítí**Graf 9** Síla F_3 při 6% poměrné plastické deformaci u rohatky s jemnou konečno-prvkovou sítí

5.3.8. Dílčí závěr a zhodnocení

Všechny získané výsledky pro rohatku s hrubou i s jemnou konečno-prvkovou sítí byly porovnány v následujících tabulkách.

Počáteční kritický časový krok t_c [s]		
Zjištěn	Analyticky	V softwaru
Rohatka s hrubou sítí	$1,479 \cdot 10^{-7}$	$1,459 \cdot 10^{-7}$
Rohatka s jemnou sítí	$6,090 \cdot 10^{-8}$	$6,006 \cdot 10^{-8}$

Tab. 8 Dosažené síly při 6% poměrné plastické deformaci

	F_1 [N]	F_2 [N]	F_3 [N]
Rohatka s hrubou sítí	20 850	12 346	40 486
Rohatka s jemnou sítí	22 758	10 894	34 013

Tab. 9 Dosažená redukovaná napětí σ_R^{HMH} při 6% poměrné plastické deformaci

Redukované napětí σ_R^{HMH} [MPa]			
Ve směru síly	F_1	F_2	F_3
Rohatka s hrubou sítí	1269,6	1269,6	1195,6
Rohatka s jemnou sítí	1269,6	1269,6	1296,6

Tab. 10 Čas při dosažení 6% poměrné plastické deformace

t [s]			
Ve směru síly	F_1	F_2	F_3
Rohatka s hrubou sítí	0,00155	0,00658	0,00172
Rohatka s jemnou sítí	0,00101	0,00583	0,00133

Z výše uvedených tabulek je patrný rozdíl mezi výsledky získanými u rohatky s hrubou a s jemnou konečno-prvkovou diskretizací. Diametrálního rozdílu bylo dosaženo ve směru síly F_3 . Vyhodnocování síly v tomto směru je vcelku obtížné a jen velmi málo zákazníků požaduje její testování.

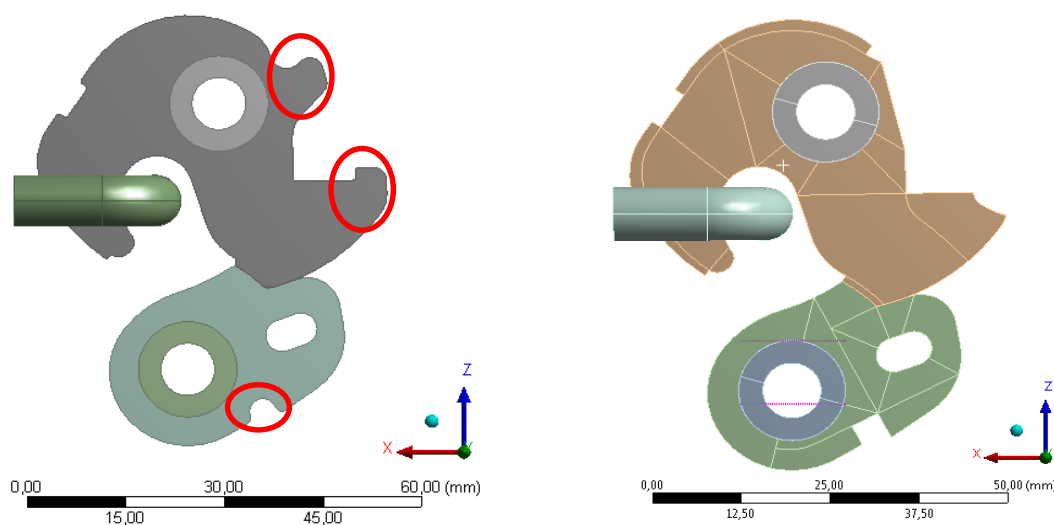
Na Obr. 32 je možno vidět, že na hraně rohatky dochází ke vzniku velké poměrné plastické deformace při styku se třmenem. Nicméně toto místo není kritické z hlediska porušení a jedná se o lokální špičku, která je způsobena nárazem třmenu na ostrou hranu rohatky. Ve skutečnosti má na sobě rohatka plastový kryt, který tlumí náraz třmenu. Na Obr. 33 je zobrazen detail poměrné plastické deformace v místě, kde reálně dochází k lomu. Graf vyhodnocení energií při zjišťování síly F_1 v průběhu analýzy rohatky viz Příloha 2 a 3.

5.4. Analýza rohatky se západkou, která je uložena v čepech

Do modelu rohatky s třmenem byla přidána západka a čepy. Západka je v podstatě druhou nejdůležitější součástí zámku zadních sedadel, pomocí níž je umožněno odjištění zámku. Výsledky analýzy jsou zpracovány v následujících kapitolách.

5.4.1. Úpravy na modelu

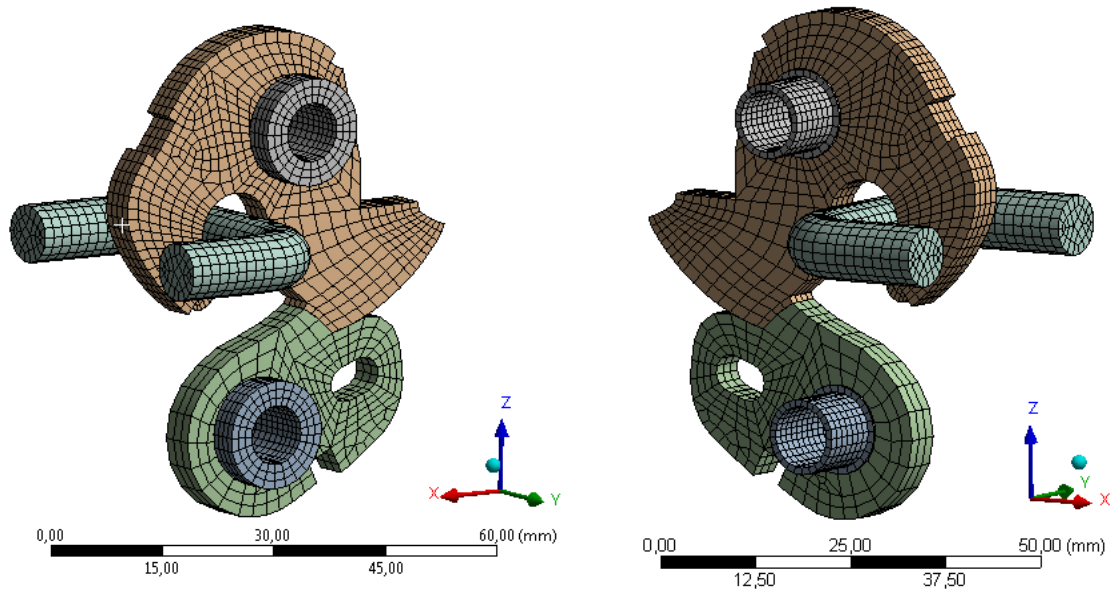
V tomto modelu bylo provedeno několik modifikací, ke zlepšení konečno-prvkové sítě, a tedy i zvětšení kritického časového kroku. Byly odstraněny pouze nepodstatné části v modelu, které neovlivňovaly jejich napěťový stav při zatížení. U rohatky byl odstraněn háček pro zachycení zkrutné pružiny a její koncová část, u západky byl odstraněn půlkruhový otvor pro zachycení zkrutné pružiny. Model před úpravami a po úpravách je zobrazen na Obr. 36.



Obr. 36 Stav před úpravami modelu a po úpravách (zleva)

5.4.2. Konečno-prvková síť

Konečno-prvková síť na tomto modelu byla vytvořena tak, aby dostatečně popsala geometrii všech součástí. Zároveň bylo snahou dosáhnout, aby byl kritický časový krok co největší. Z Obr. 37 je zřejmé, že na západce byla vytvořena hrubší síť, naopak na rohatce síť podstatně jemnější. Napětový stav vzniklý na západce od zatížení totiž není podstatný. Západka není kritickou součástí zámku.



Obr. 37 Konečno-prvková síť vytvořená na rohatce a západce uložené v čepích

Tab. 11 Počet elementů a uzlů obsažených v modelu rohatky a západky uložené v čepích

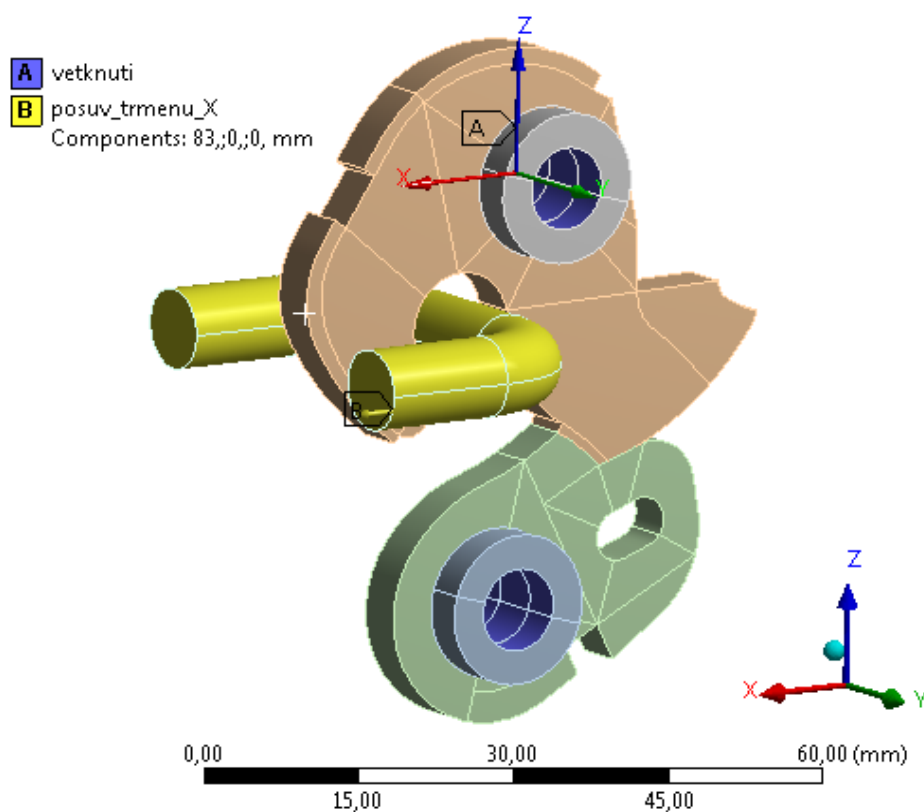
	Počet	
	Elementů	Uzlů
Rohatka	1936	2830
Západka	549	892
Čep rohatky	729	1242
Čep západky	729	1242
Třmen	1518	2021
Celkem	5461	8227

5.4.3. Kontakty

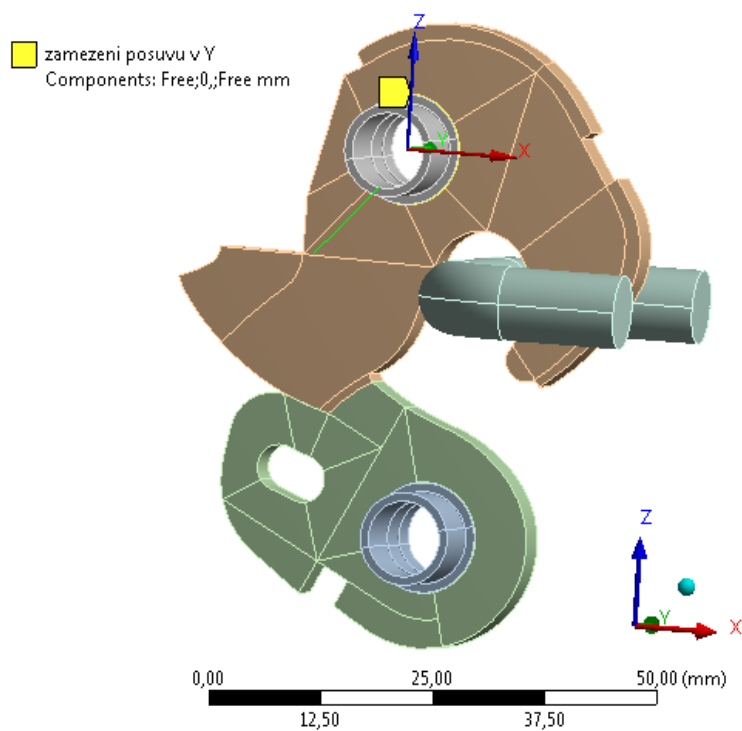
Kontakty byly řešeny stejně jako v případě analýzy rohatky (viz kapitola 5.3.2.)

5.4.4. Okrajové podmínky

Díky přidání západky do modelu s rohatkou odpadla okrajová podmínka vetknutí na ploše zubu rohatky. Tím, že byly do modelu implementovány čepy, nebylo třeba aplikovat okrajovou podmínku rotační vazby v kruhovém otvoru rohatky pro čep. Nicméně, bylo třeba zamezit posuvu rohatky v ose Y, protože při aplikování posuvu třmenu v této ose by došlo k vypadnutí rohatky z čepu. Při zjišťování sil F_2 a F_3 byl posuv třmenu nadefinován v osách Y a Z. Čepy byly na jejich vnitřním průměru vetknuty, tato okrajová podmínka měla simulovat uchycení zámku v čepích tuhými šrouby.

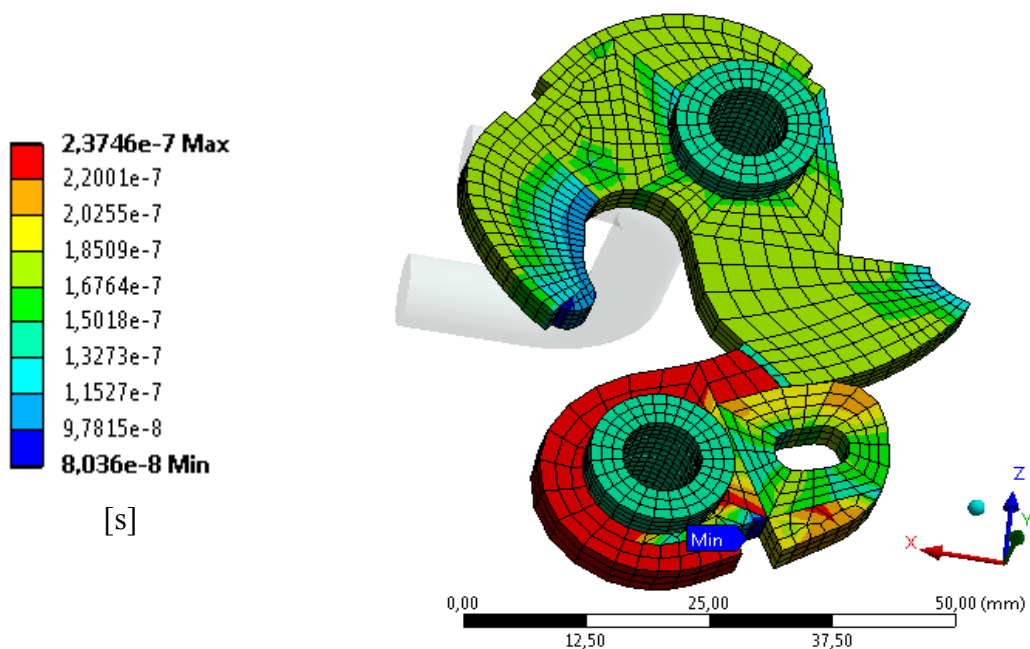


Obr. 38 Okrajové podmínky zadané v modelu rohatky a západky uložené v čepích

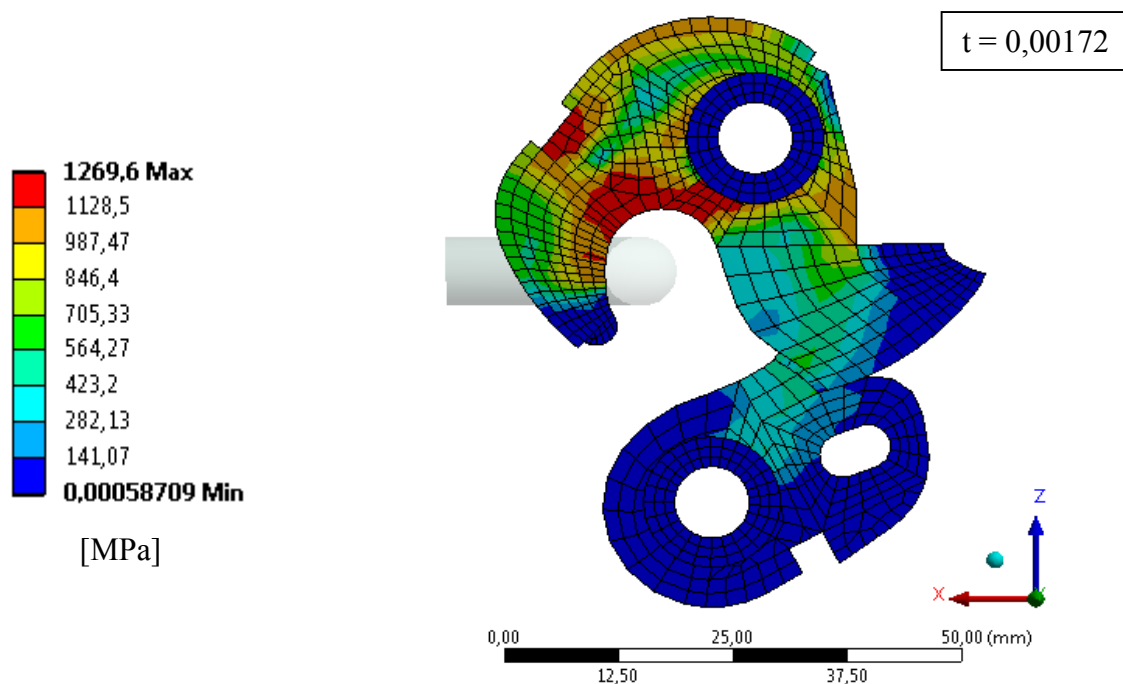
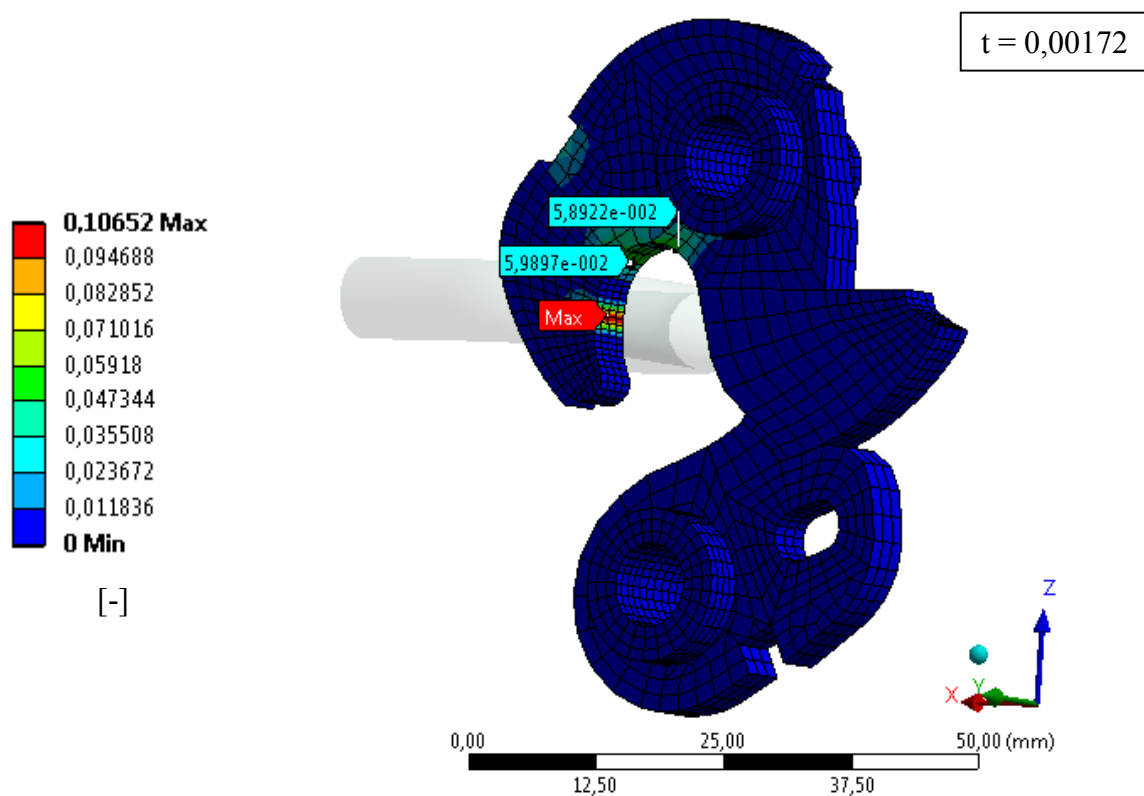


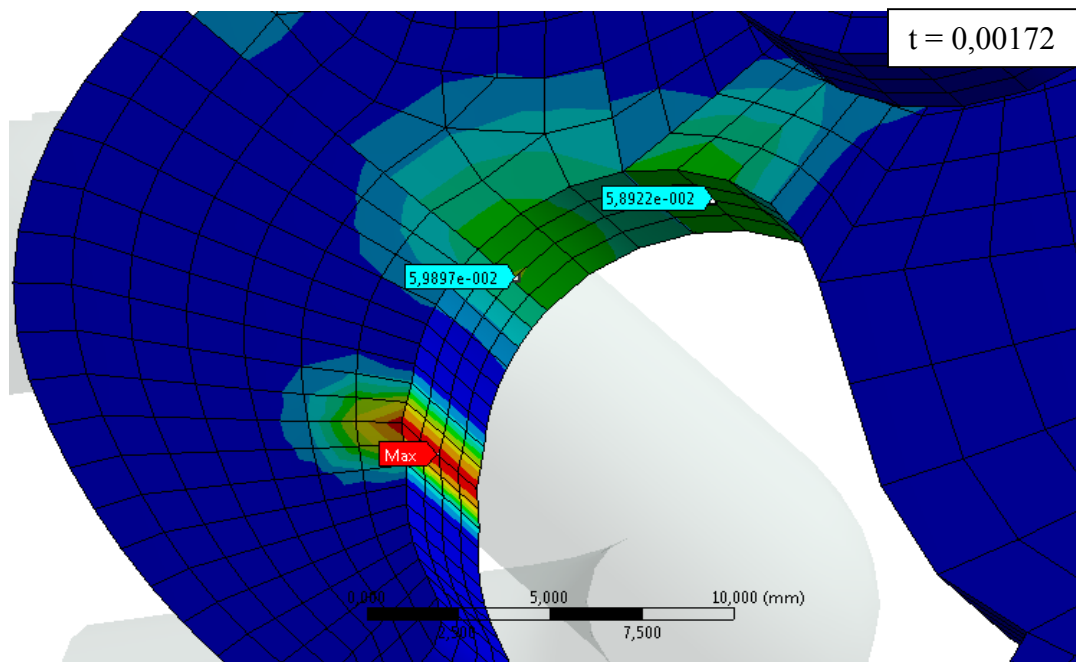
Obr. 39 Pokračování okrajových podmínek zadaných v modelu rohatky a západky uložené v čepích

5.4.5. Počáteční kritický časový krok

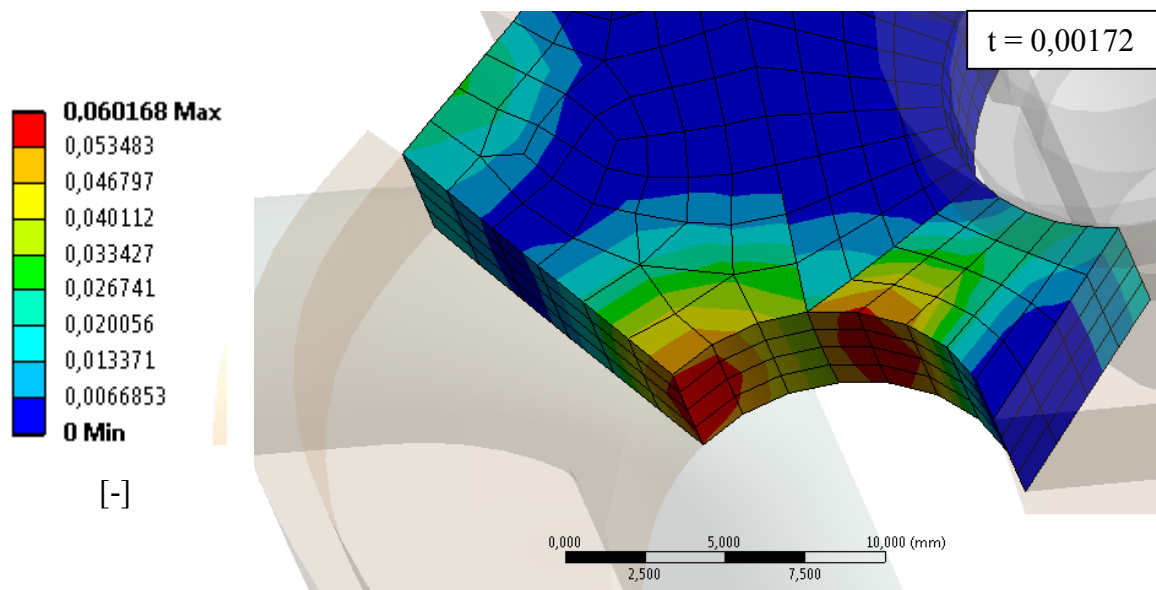


Obr. 40 Počáteční časový krok v modelu rohatky a západky uložené v čepích [s]

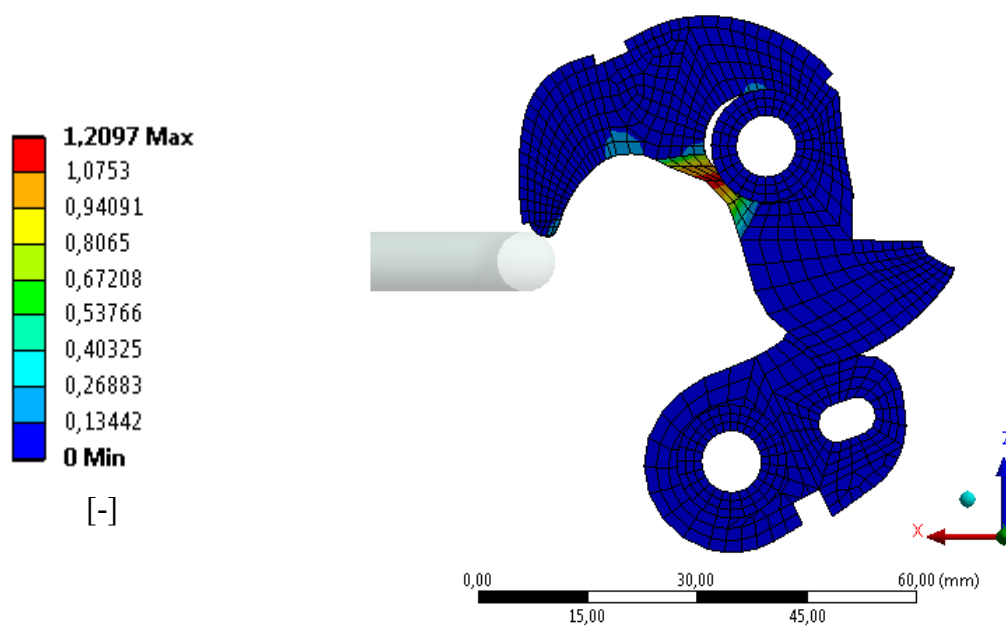
5.4.6. Získané výsledky pro směr působící síly F_1 Obr. 41 Redukované napětí σ_R^{HM} při 6% poměrné plastické deformaci [MPa]



Obr. 42 6% Poměrná plastická deformace na rohatce v modelu se západkou a čepu [-]

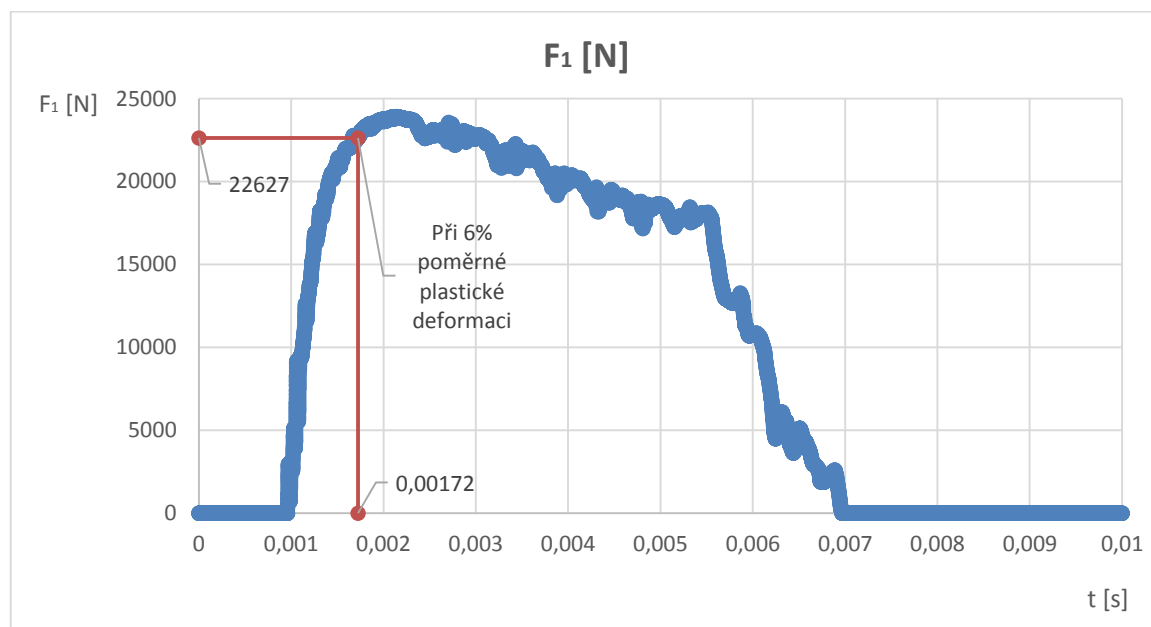


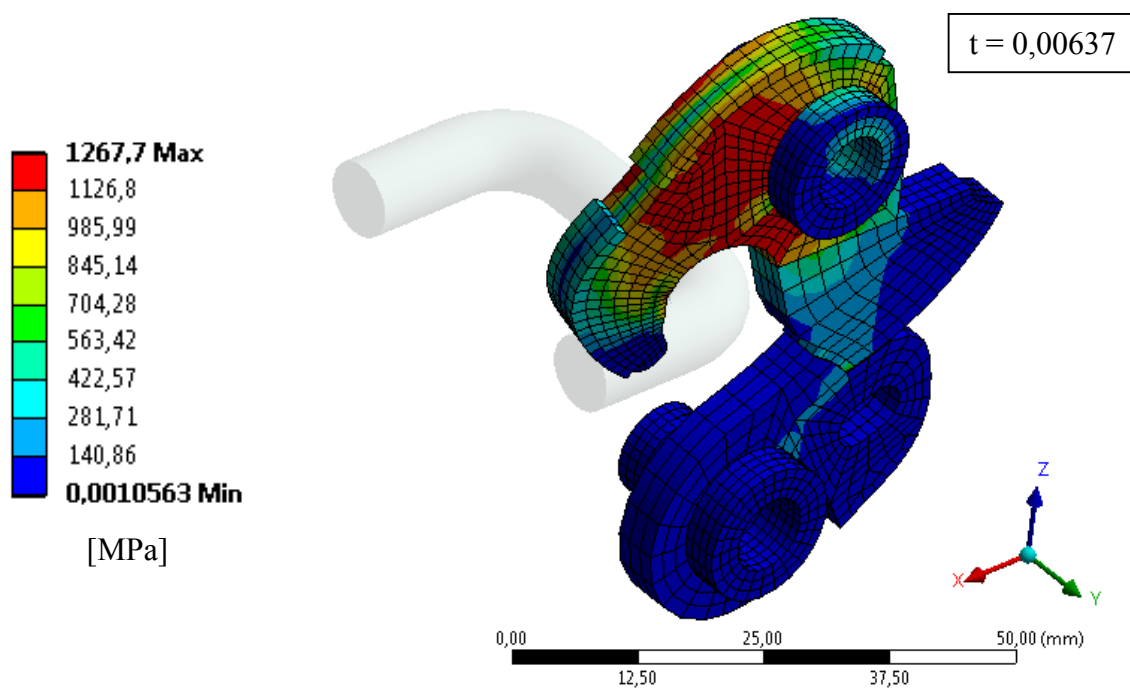
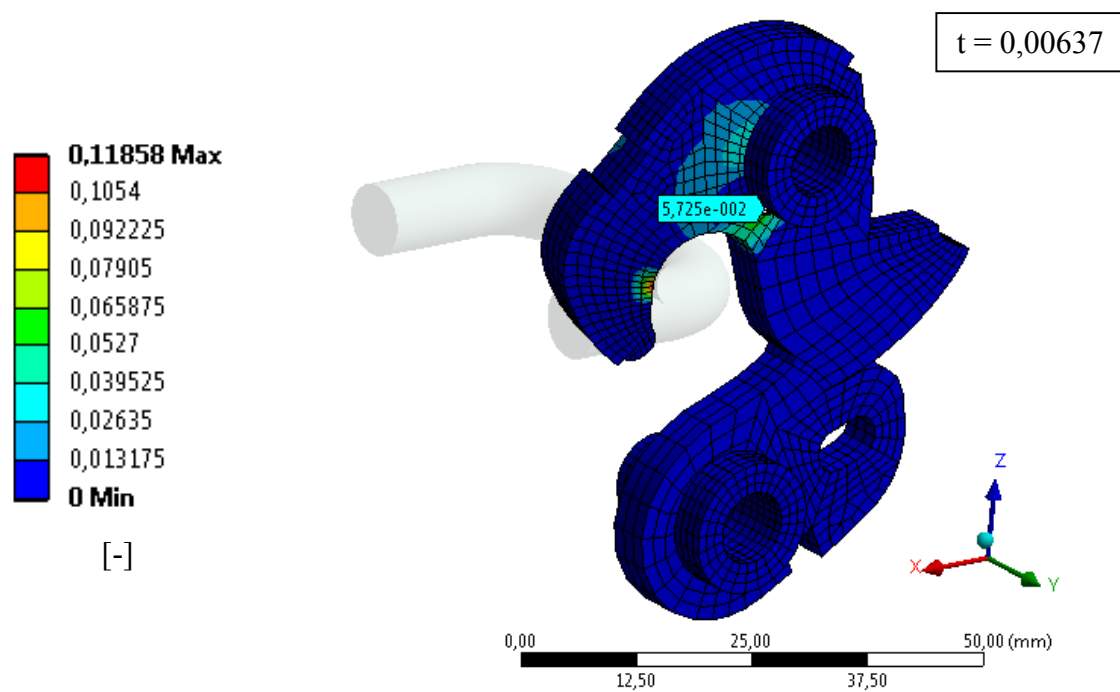
Obr. 43 Detail 6% poměrné plastické deformace rohatky v místě kolem čepu [-]



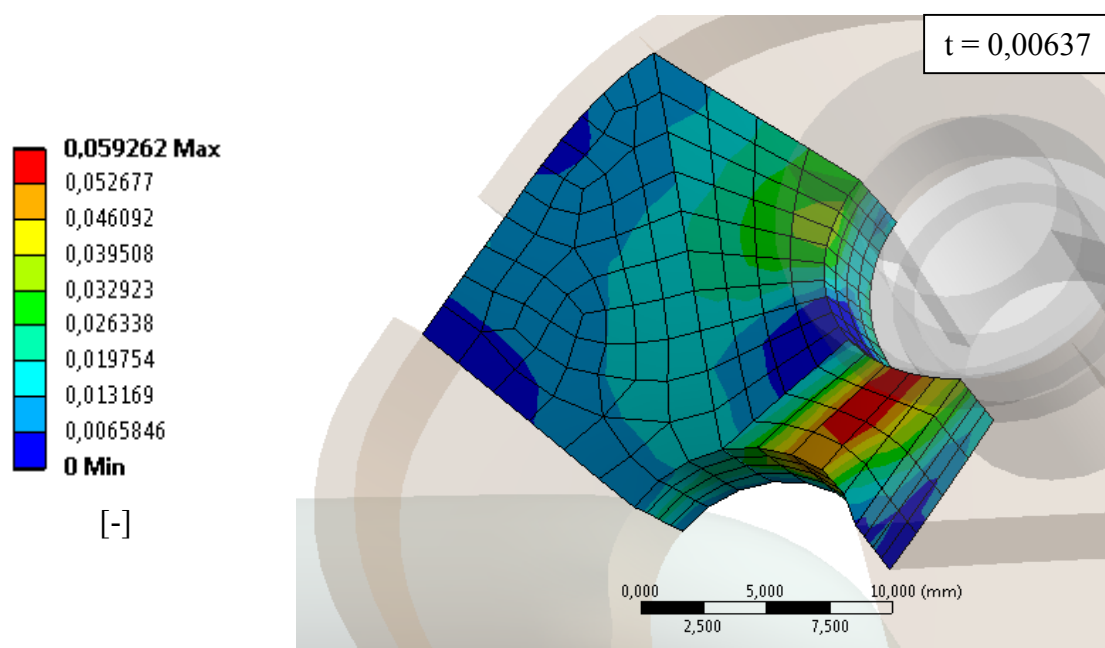
Obr. 44 Ukázka místa porušení rohátky v čase $1,051 \cdot 10^{-2}$ s [-]

Graf 10 Síla F_1 při 6% plastické deformaci v modelu rohátky a západky uložené v čepech



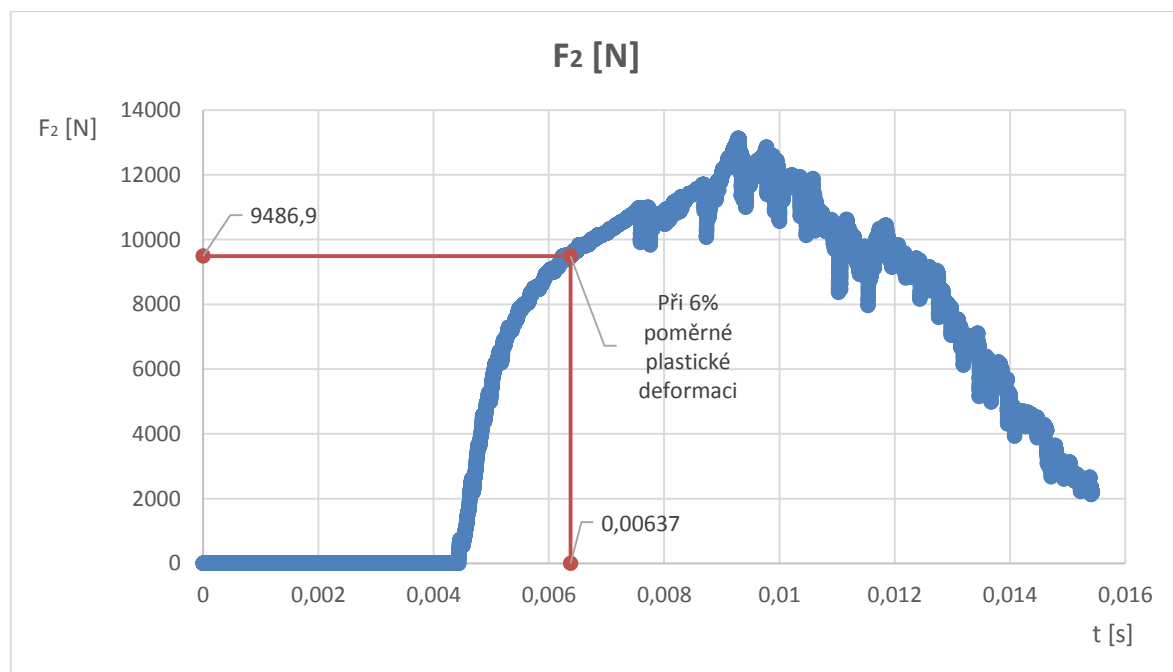
5.4.7. Získané výsledky pro směr působící síly F_2 Obr. 45 Redukované napětí σ_R^{MH} při 6% poměrné plastické deformaci [MPa]

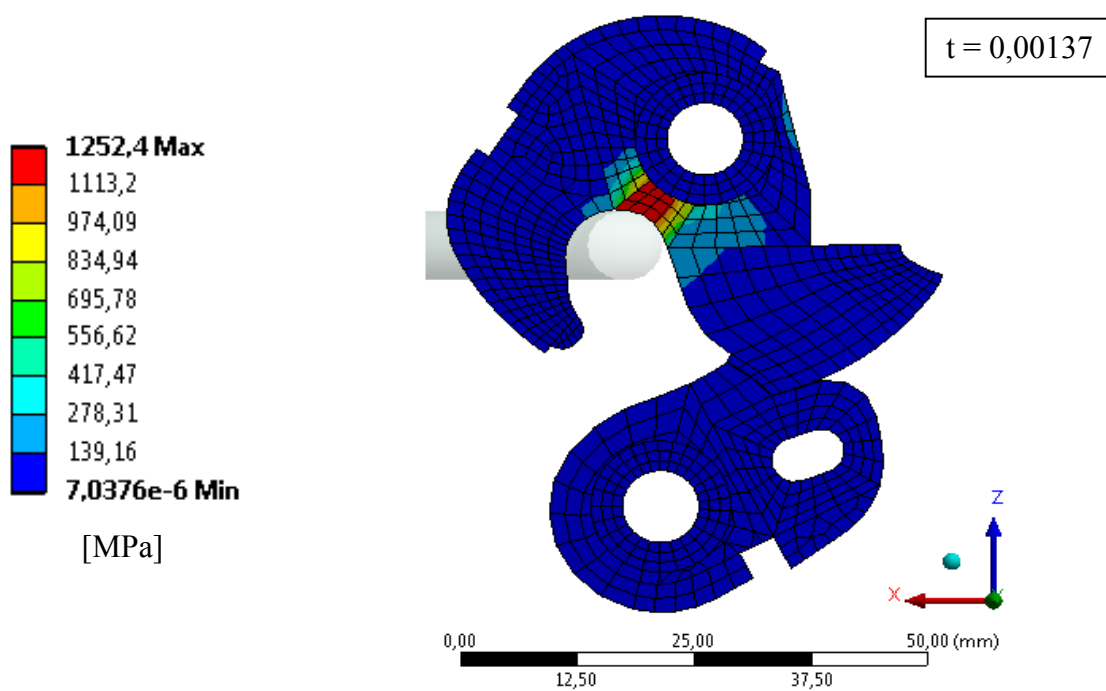
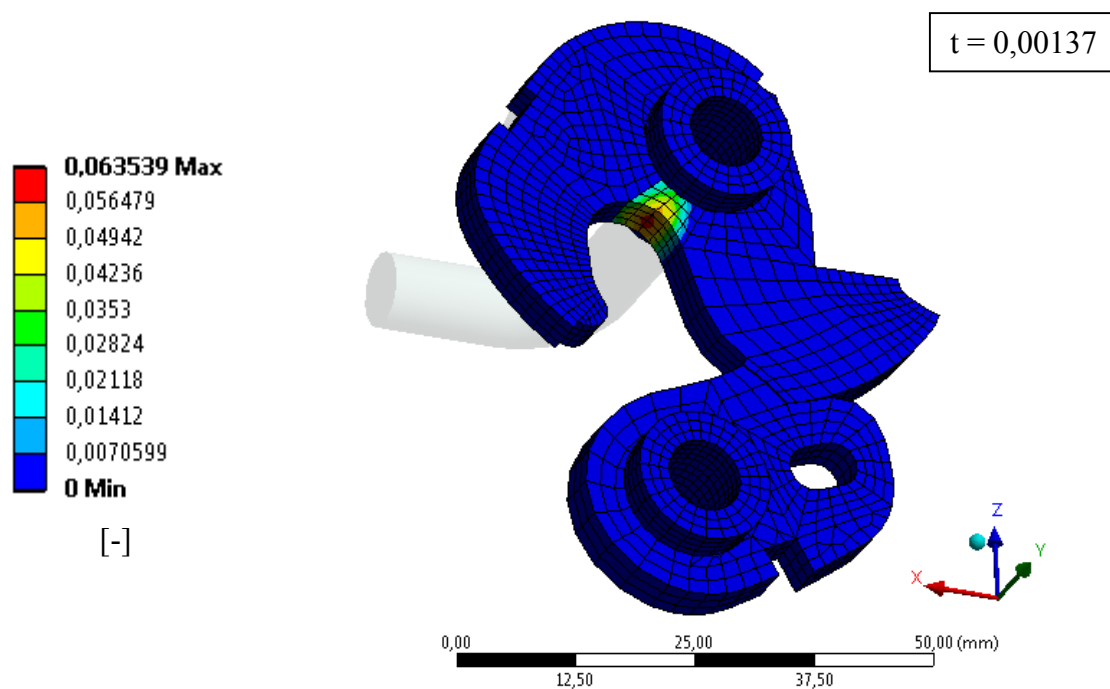
Obr. 46 6% Poměrná plastická deformace na rohatce v modelu se západkou a čepy [-]



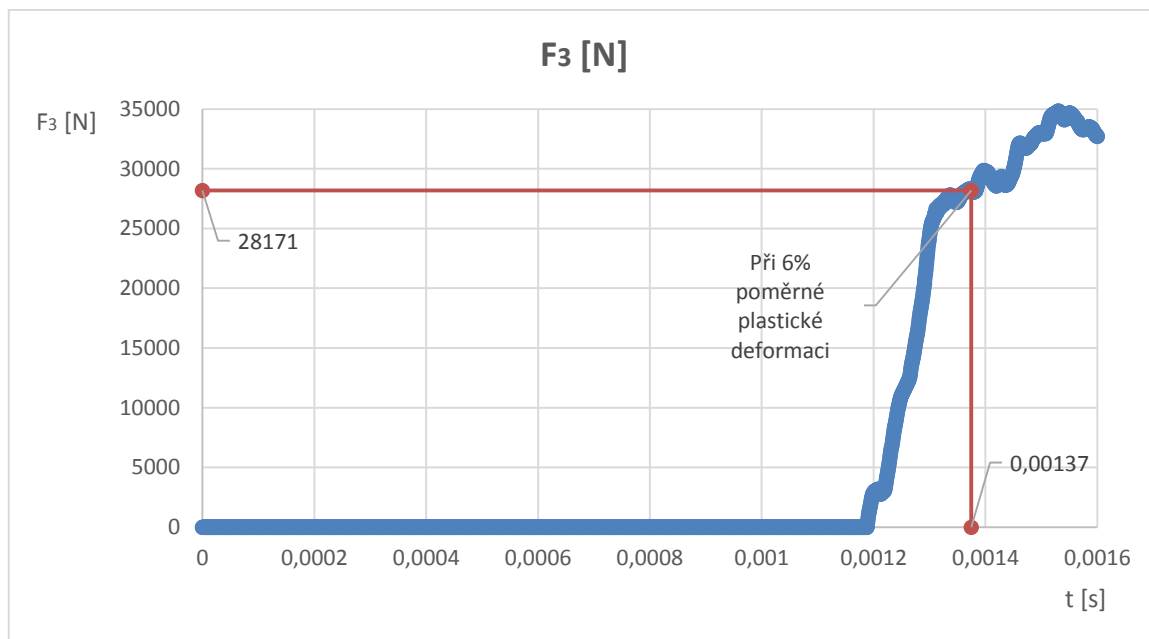
Obr. 47 Detail 6% poměrné plastické deformace rohatky v místě kolem čepu [-]

Graf 11 Síla F_2 při 6% plastické deformaci v modelu rohatky a západky uložené v čepch



5.4.8. Získané výsledky pro směr působící síly F_3 Obr. 48 Redukované napětí σ_R^{MH} při 6% poměrné plastické deformaci [MPa]

Obr. 49 6% poměrná plastická deformace na rohatce v modelu se západkou a čepy [-]

Graf 12 Síla F_3 při 6% plastické deformaci v modelu rohatky a západky uložené v čepech

5.4.9. Dílčí závěr a zhodnocení

Dosažené výsledky z analýzy modelu rohatky a západky uložené v čepech jsou vyhodnoceny následujícími tabulkách.

Tab. 12 Dosažené síly při 6% poměrné plastické deformaci v modelu rohatky a západky uložené v čepech

F_1 [N]	F_2 [N]	F_3 [N]
22 627	9 486,9	28 171

Tab. 13 Dosažená redukovaná napětí σ_R^{HMH} při 6% poměrné plastické deformaci v modelu rohatky a západky uložené v čepech

Redukovaná napětí σ_R^{HMH} [MPa]			
Ve směru síly	F_1	F_2	F_3
	1269,6	1267,7	1252,4

Tab. 14 Čas při dosažení 6% poměrné plastické deformace v modelu rohatky a západky uložené v čepech

Ve směru síly	t [s]		
	F ₁	F ₂	F ₃
	0,00172	0,00637	0,00137

V této analýze se již okrajové podmínky zadané na modelu více podobaly skutečnému uložení. V Tab. 12 - Tab. 14 byly vyhodnoceny podstatné výsledky.

Při vyhodnocování síly F₁ a F₂ se objevila lokální špička. V obou případech v místě styku rohatky s třmenem. Jak bylo řečeno v kapitole 5.3.8. , tyto špičky by pravděpodobně nevznikly, protože rohatka má na sobě plastový kryt, který by náraz třmenu ztlumil. Dosažené hodnoty energií při vyhodnocování síly F₁ v průběhu analýzy viz Příloha 3.

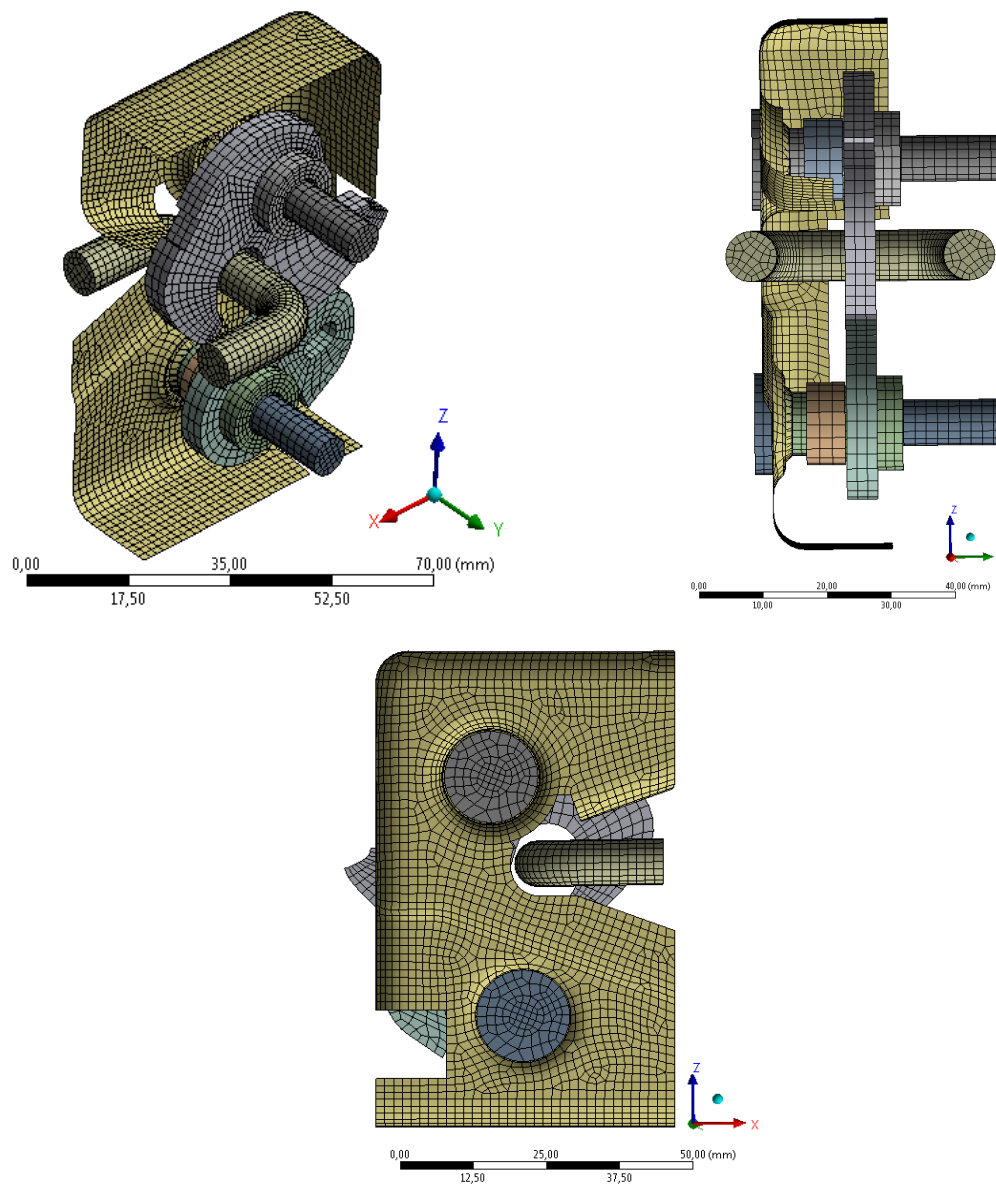
5.5. Analýza zjednodušeného zámku zadních sedadel přichyceného šrouby v čepech

Zjednodušený zámek zadních sedadel se skládal z částí viz kapitola 4.2. (Obr. 20). Navíc byl zámek přichycen dvěma šrouby v čepech. Tento případ uložení zámku by měl být nejreálnější. Oba šrouby byly definovány jako tuhé prvky, jelikož ve skutečnosti dochází málokdy k jejich výraznější deformaci. Výsledky z analýzy byly vyhodnoceny v následujících kapitolách.

5.5.1. Úpravy na modelu

Na modelu nebyly provedeny žádné výraznější úpravy. Rohatka a západka byly přejaty z předchozího modelu (viz kapitola 5.4.1.). Samozřejmě byla zrušena různá zaoblení a sražení hran za účelem vytvoření lepší konečno-prvkové sítě. Mírně byl také upraven tvar čepů.

5.5.2. Konečno-prvková síť



Obr. 50 Konečno-prvková síť vytvořená na zjednodušeném modelu zámku zadních sedadel

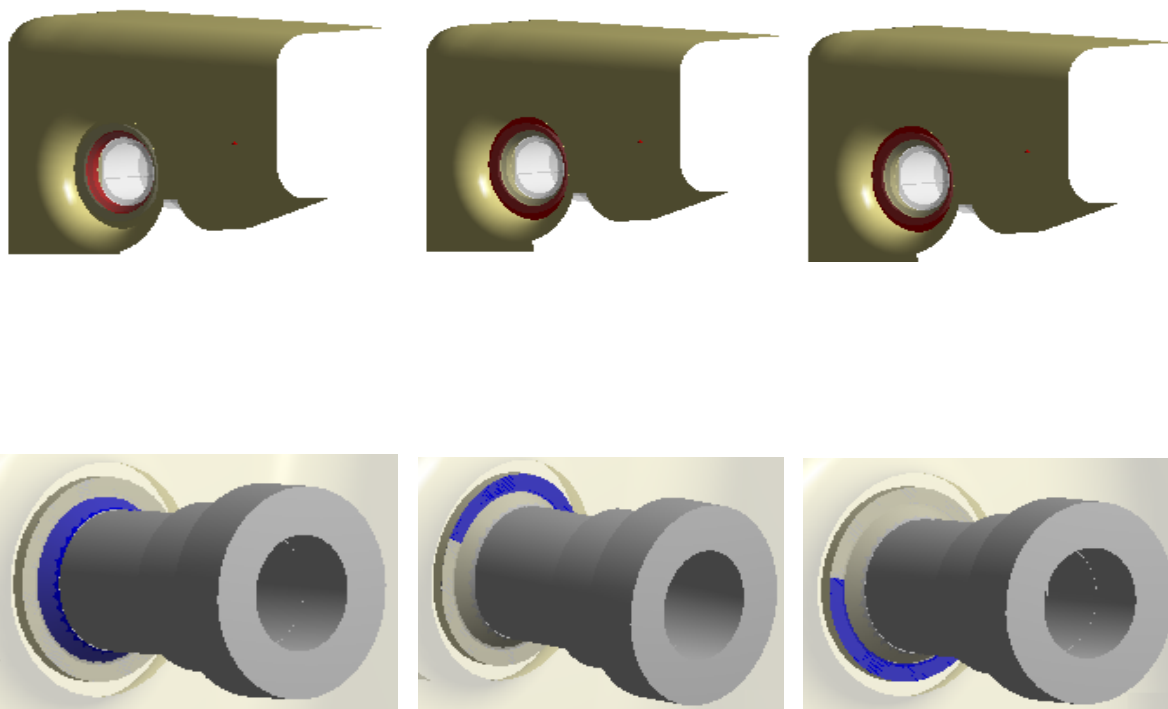
Tab. 15 Počet elementů a uzlů obsažených ve zjednodušeném modelu zámku zadních sedadel

	Počet	
	Elementů	Uzlů
Rohatka	1401	2172
Západka	654	1052
Čep rohatky	754	1300

Čep západky	754	1300
Třmen	2128	2793
Základní deska	3074	3237
Distanční kroužek rohatky	60	160
Distanční kroužek západky	60	160
Šroub rohatky	931	1268
Šroub západky	931	1268
Celkem	10 747	14 710

5.5.3. Kontakty

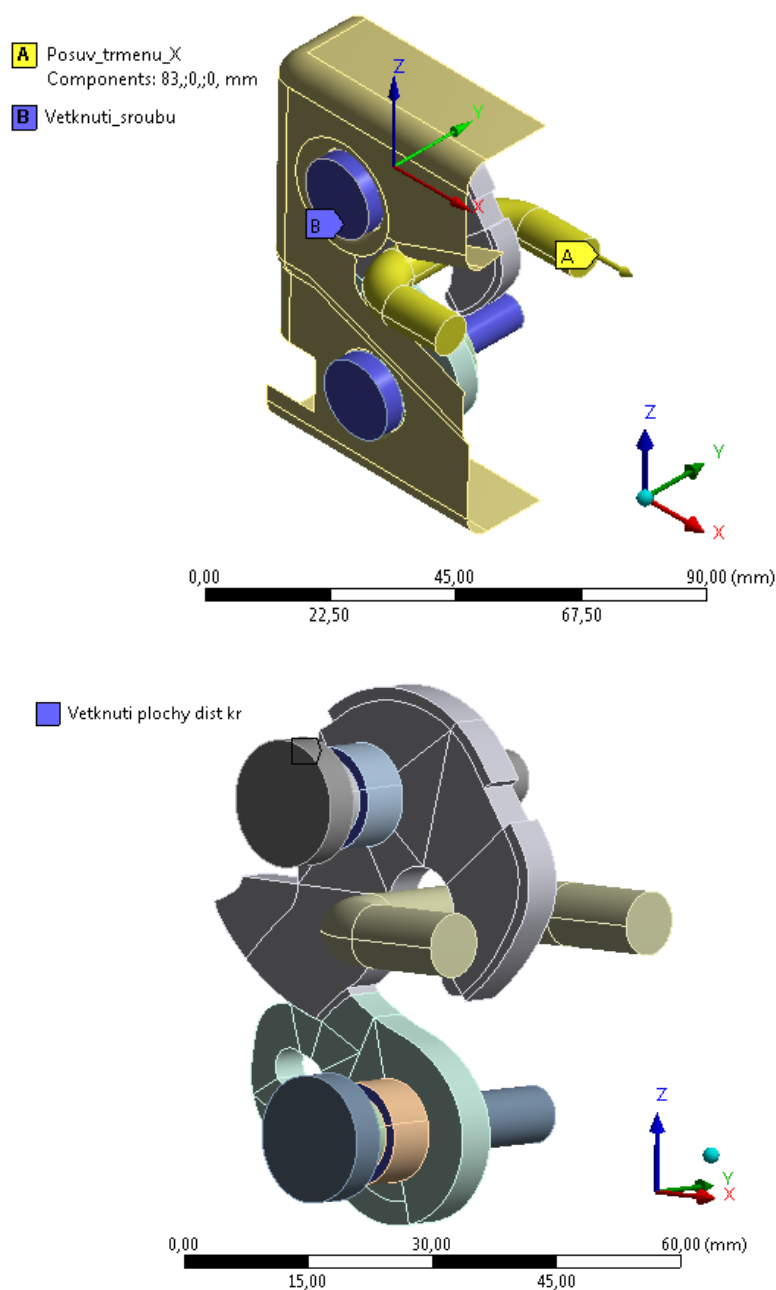
Kontakty byly řešeny stejně jako v případě analýzy rohatky, či analýzy rohatky se západkou uložené v čepech (viz kapitoly 5.3.2., 5.4.3.). Nicméně čepy byly uchyceny k desce pomocí „Bonded“ kontaktu.



Obr. 51 „Bonded“ kontakt mezi základní deskou a čepem

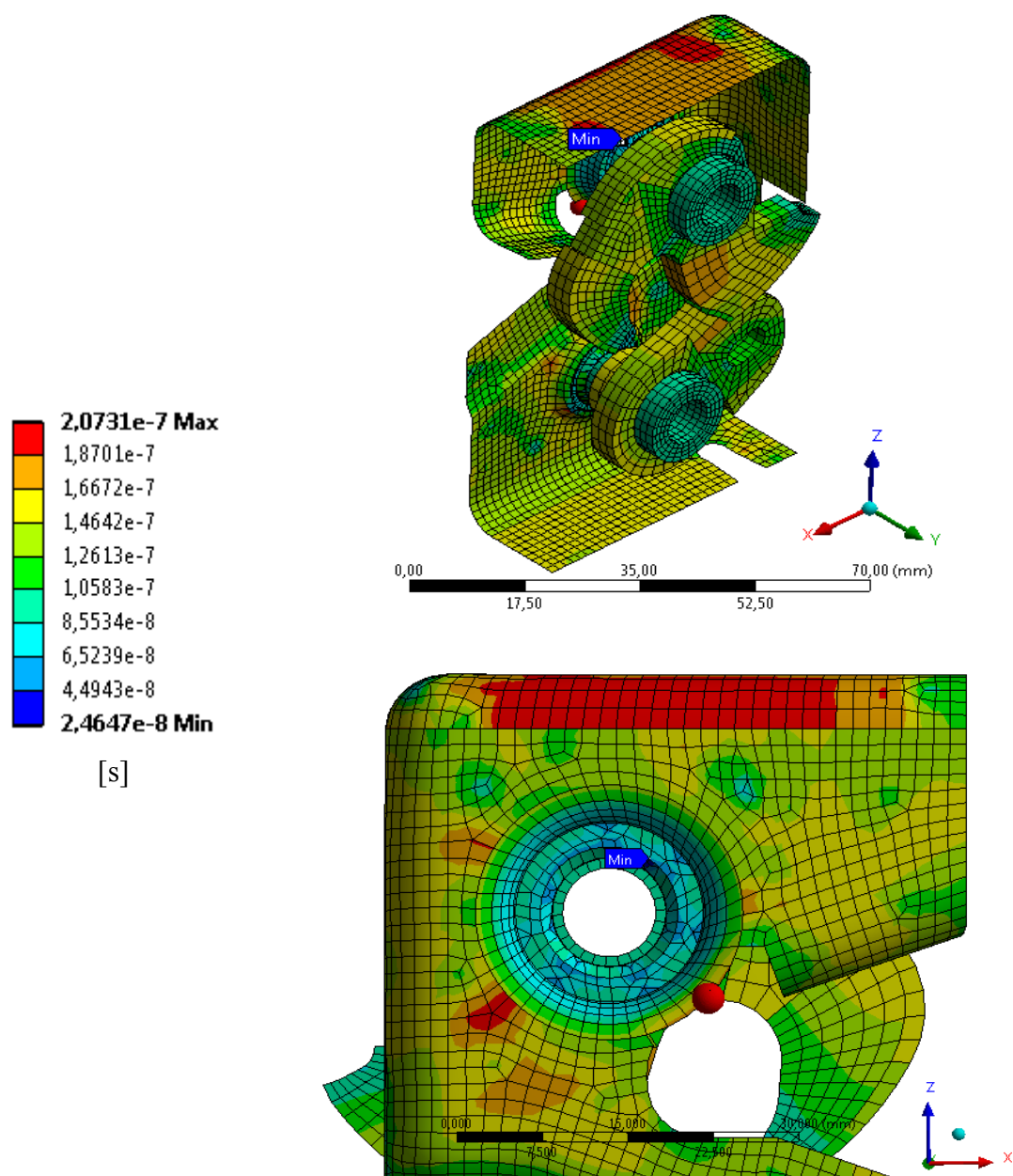
5.5.4. Okrajové podmínky

Okrajové podmínky byly takřka totožné jako v analýze rohatky se západkou uložené v čepech. Posuv třmenu byl zadán ve směru, v jakém se zjišťovala síla. V čepech byly umístěny šrouby, které byly vetknuty. Plochy distančních kroužků směřující k hlavě šroubů byly vetknuty.



Obr. 52 Okrajové podmínky zadané ve zjednodušeném modelu zámku zadních sedadel

5.5.5. Počáteční kritický časový krok



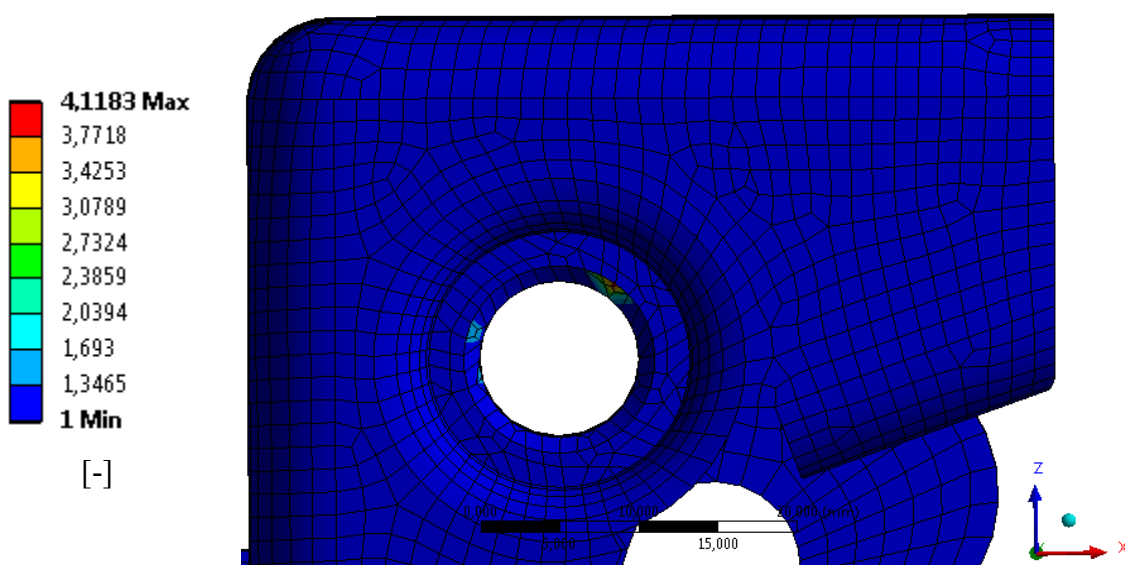
Obr. 53 Původní počáteční kritický časový krok [s]

Jelikož byl počáteční kritický časový krok velmi malý a výpočet by trval poměrně dlouhou dobu, byl tento časový krok uměle zvětšen. Tato technika se nazývá „Mass scaling“.

5.5.5.1. *Mass scaling*

Jedná se o umělý mechanismus zvýšení kritického časového kroku u elementu, který řídí výpočet. Velkou výhodou je snížení počtu cyklů k dosažení požadovaného výsledku.

Tato možnost by se měla využívat pouze pro zvýšení kritického časového kroku u velmi malého počtu velmi malých elementů. Z překladu je jasné, že jde o umělé zvýšení hmotnosti elementů. Z tohoto důvodu by mělo být této funkce využíváno minimálně a v místech, které masivně neovlivňují výpočet. Dochází totiž ke změnám setrvačnosti těles a výsledky nemusí odpovídat skutečnosti. (16)



Obr. 54 Použití techniky „Mass scaling“ na základní desce zjednodušeného zámku zadních sedadel [-]

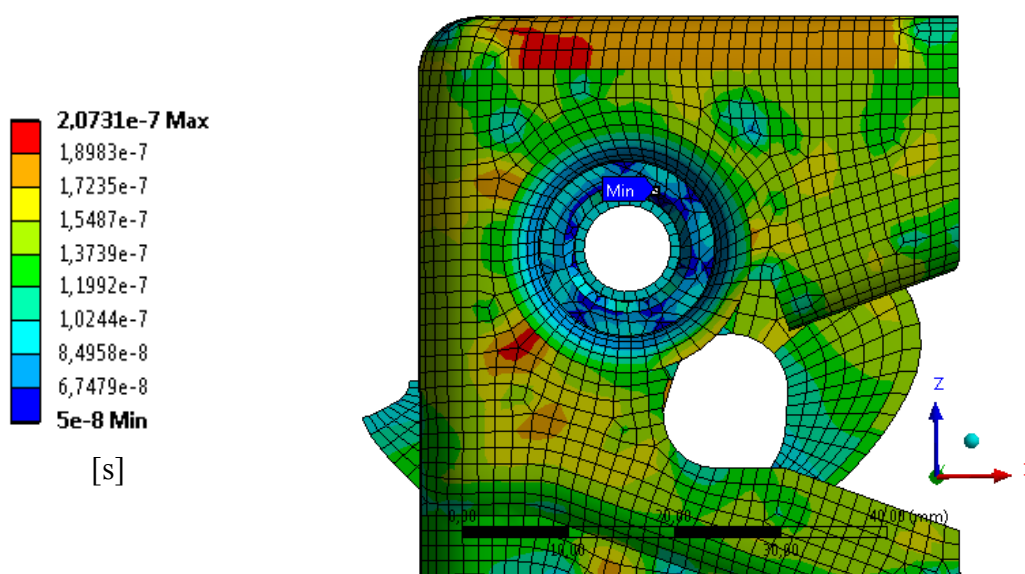
Na Obr. 38 je možno spatřit že hmotnosti nebylo do modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel přidáno přespříliš. Hmotnost byla přidána do základní desky v místě pro uchycení čepu rohatky. Detailnější nastavení techniky „Mass scaling“ viz Příloha 4.

Tab. 16 Číselné vyhodnocení techniky „Mass scaling“ použité v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel

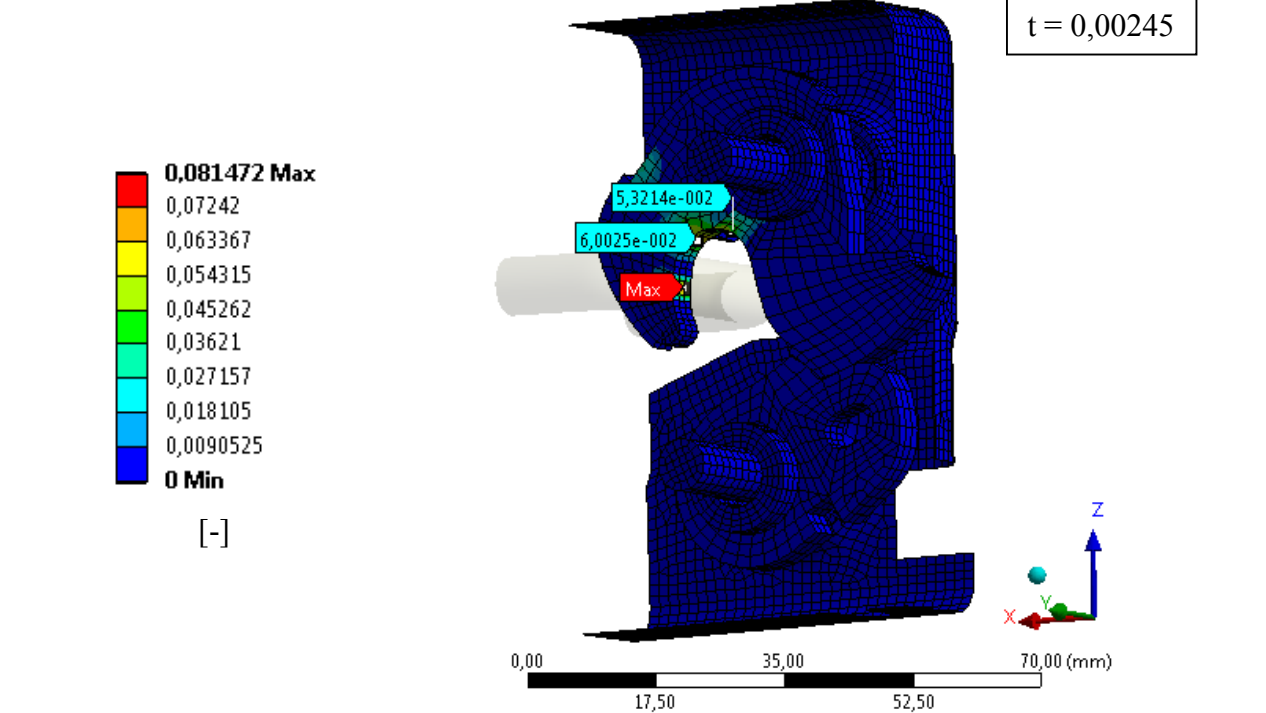
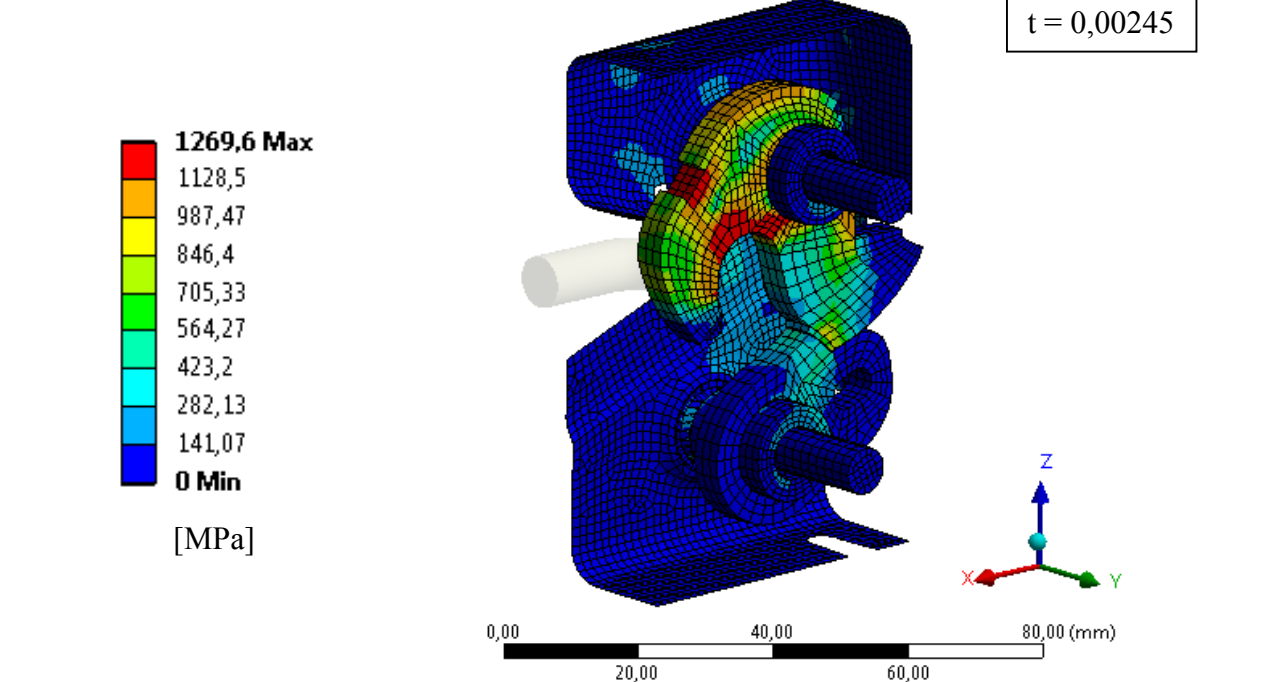
Původní hmotnost	Přidaná hmotnost	Celková hmotnost	Přidaná hmotnost
[g]			%
266	0,1451	266,1451	0,055

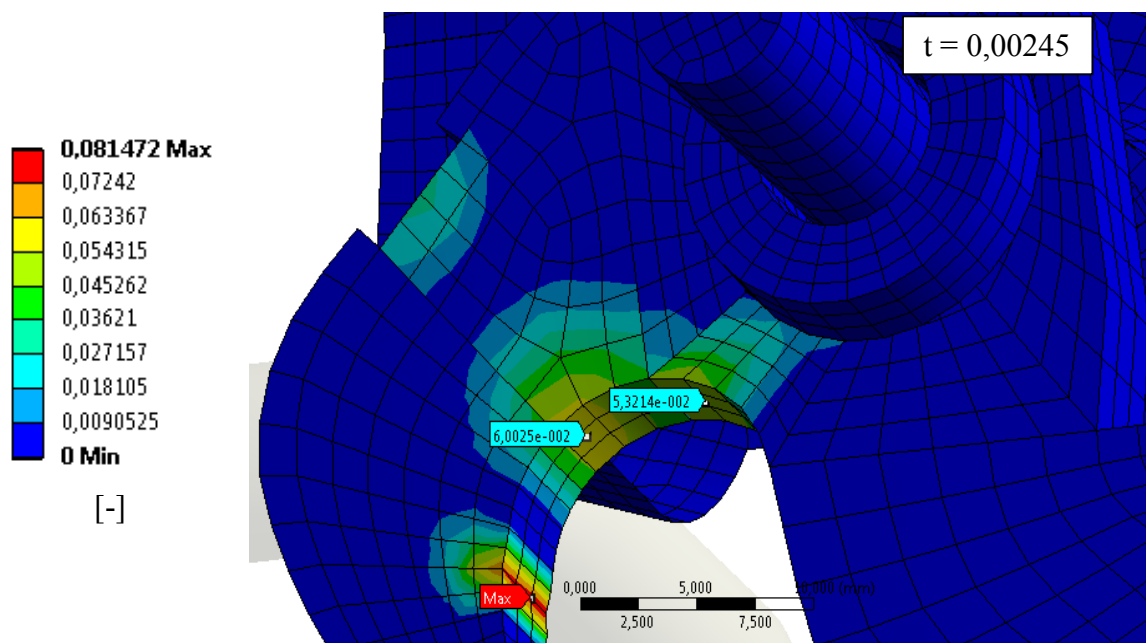
Z předchozí tabulky je zřejmé, že do zjednodušeného modelu zámku zadních sedadel bylo přidáno pouze 0,055 % hmotnosti, což je zanedbatelná hodnota. Tato hmotnost byla přidána pouze do základní desky, což není kritická součást zámku a navíc se deska v podstatě nehýbe, tudíž její setrvačné vlastnosti nejsou až tak podstatné. Kompletní výpis přidané hmotnosti u jednotlivých těles zámku viz Příloha 5.

Počáteční kritický časový krok byl zvětšen z původního $2,4647 \cdot 10^{-8}$ s na $5 \cdot 10^{-8}$ s.

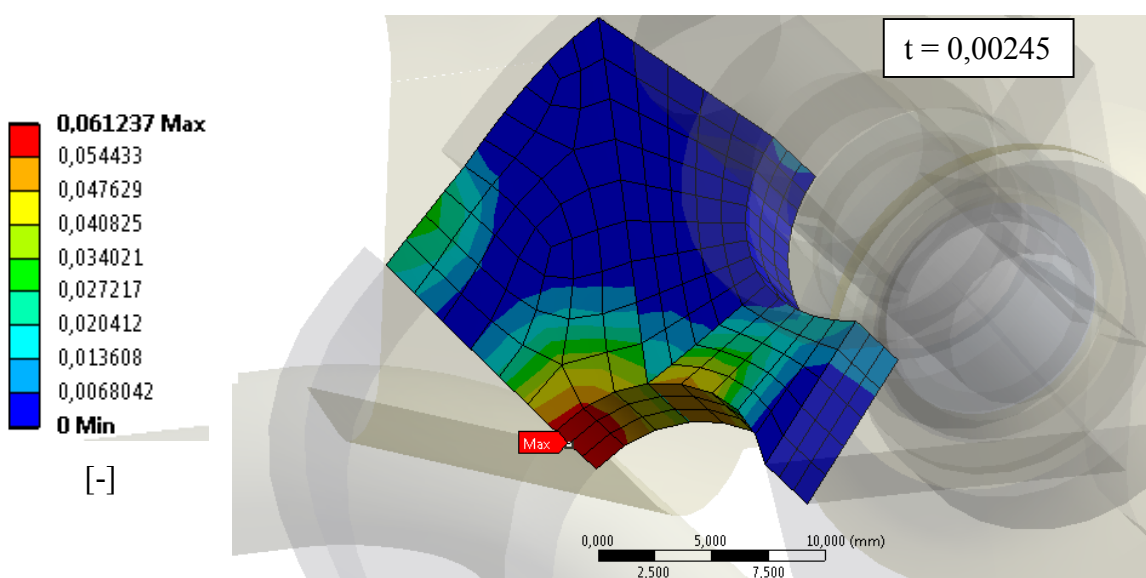


Obr. 55 Nový počáteční kritický časový krok [s]

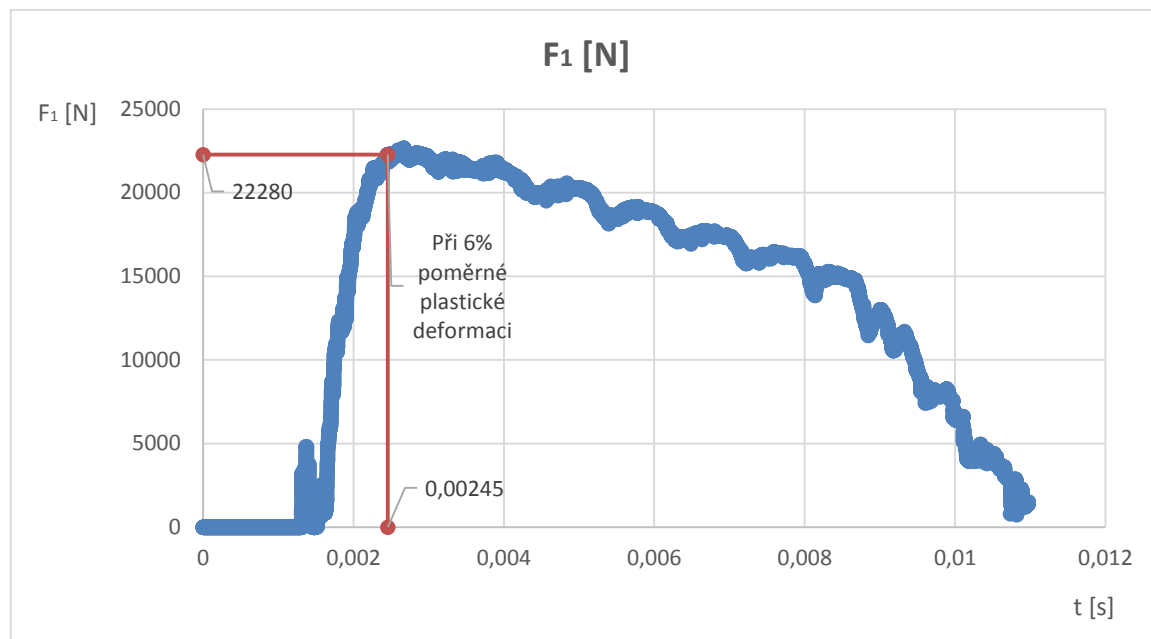




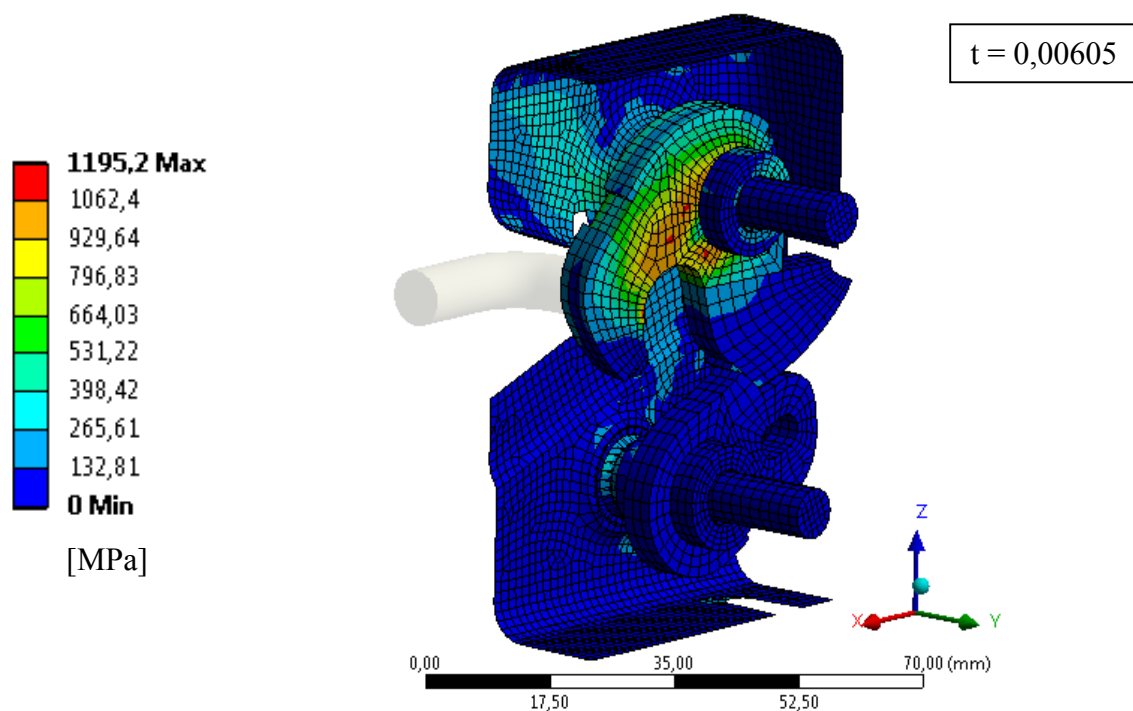
Obr. 58 Detail 6% poměrné plastické deformace v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel [-]

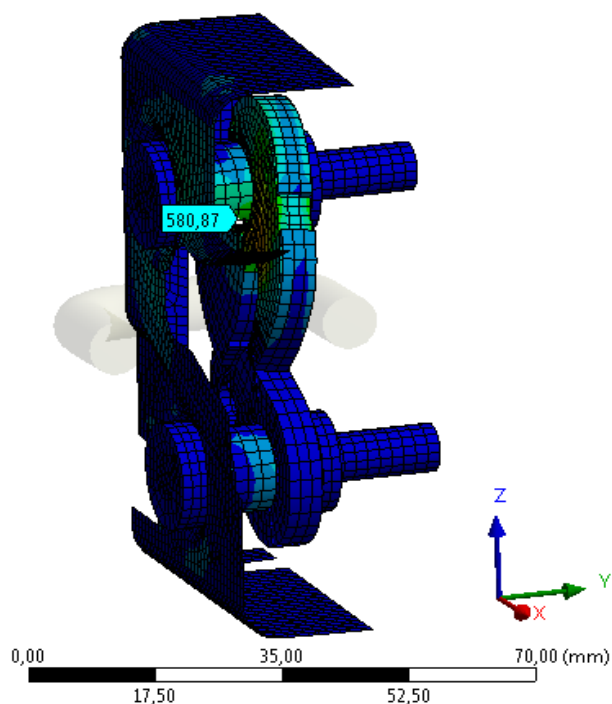


Obr. 59 Detail 6% poměrné plastické deformace v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel vyhodnocené na rohacce v místě kolem čepu [-]

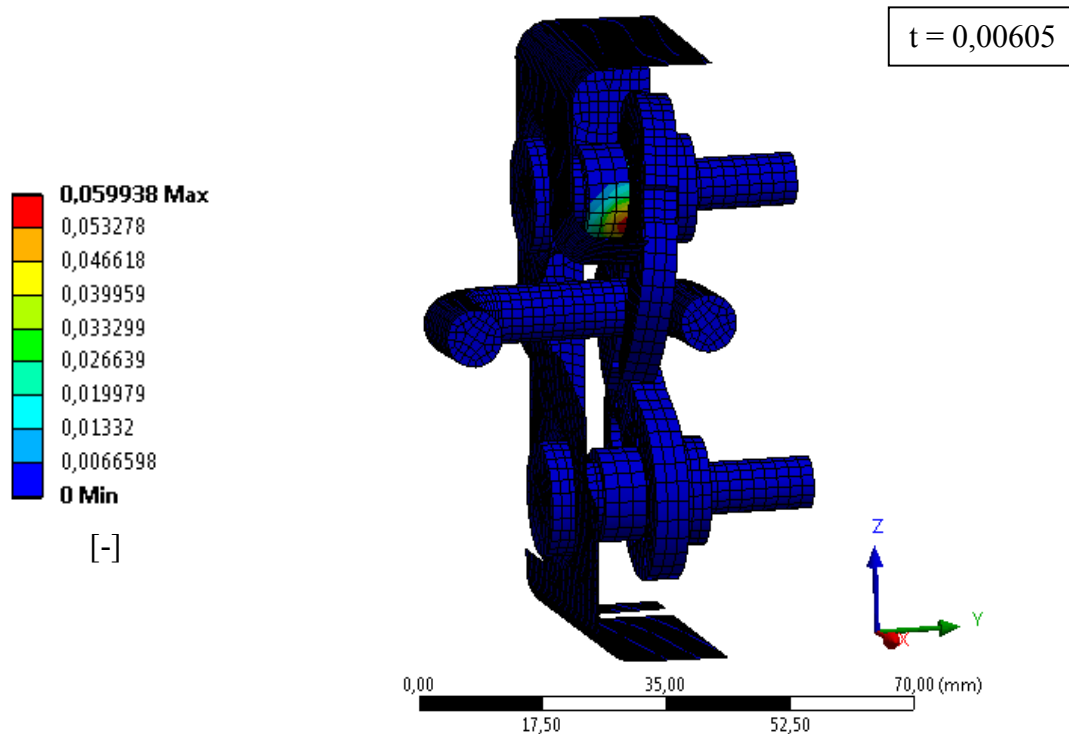
Graf 13 Síla F_1 při 6% plastické deformaci v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel

5.5.7. Získané výsledky pro směr působící síly F_2

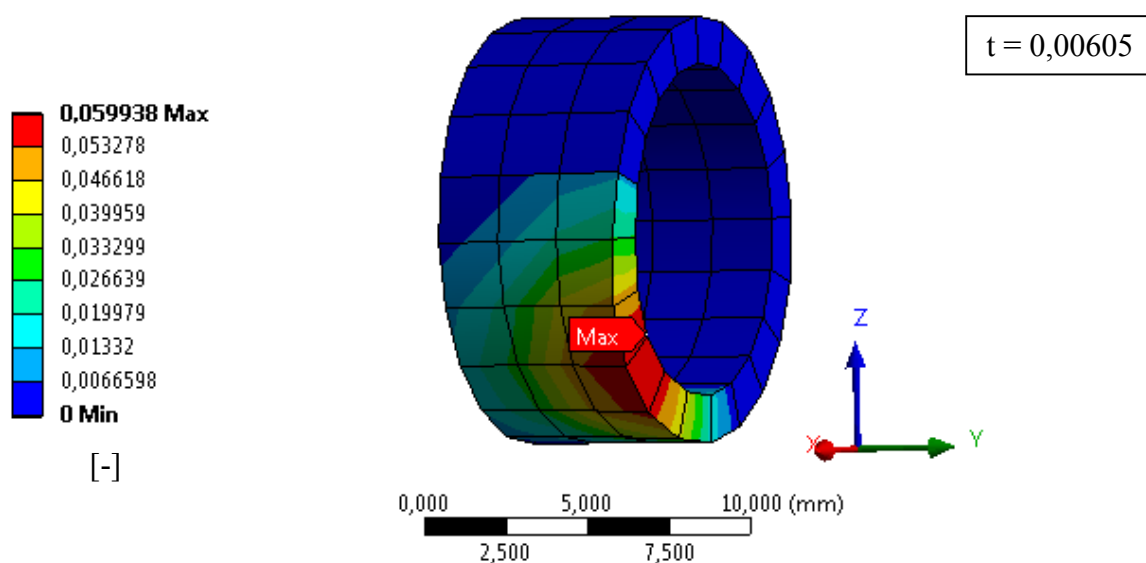




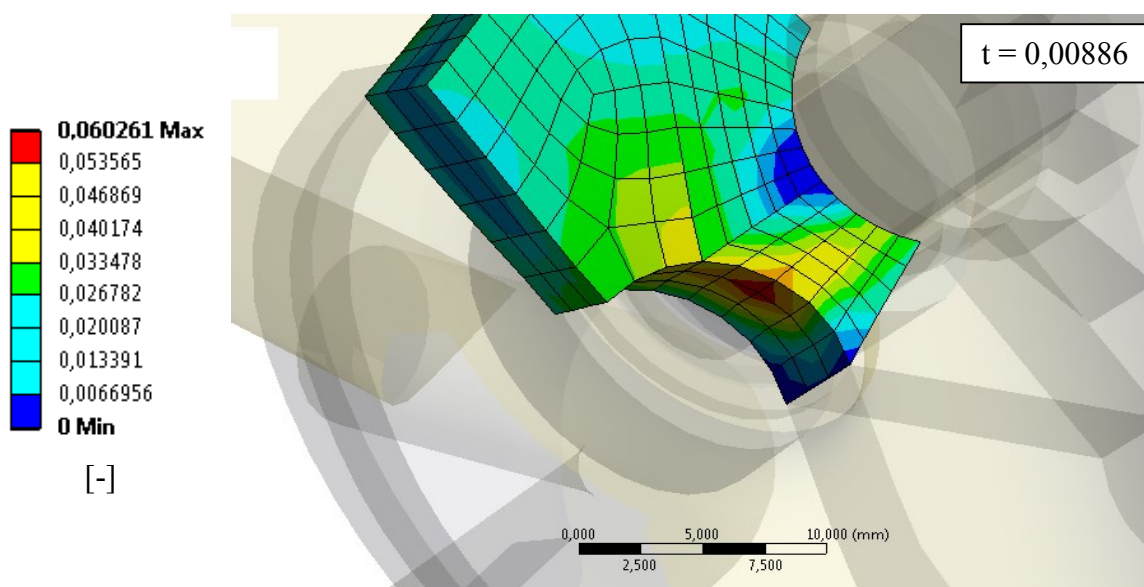
Obr. 60 Redukované napětí σ_R^{HMH} při 6% poměrné plastické deformaci v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel [MPa]



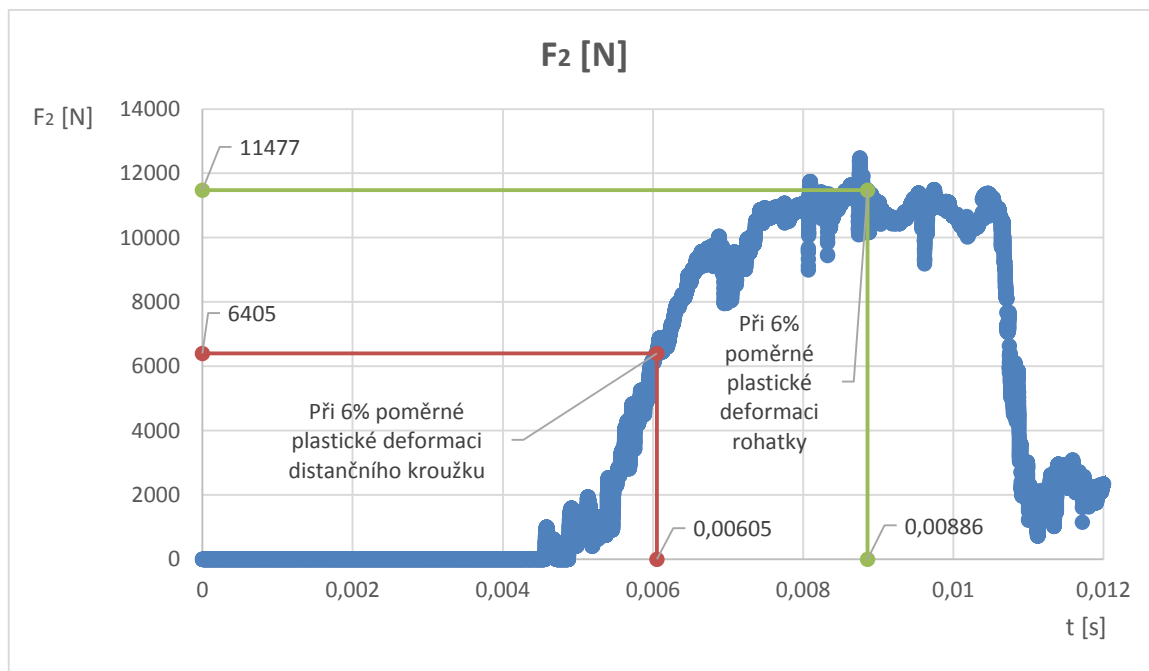
Obr. 61 6% poměrná plastická deformace v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel [-]



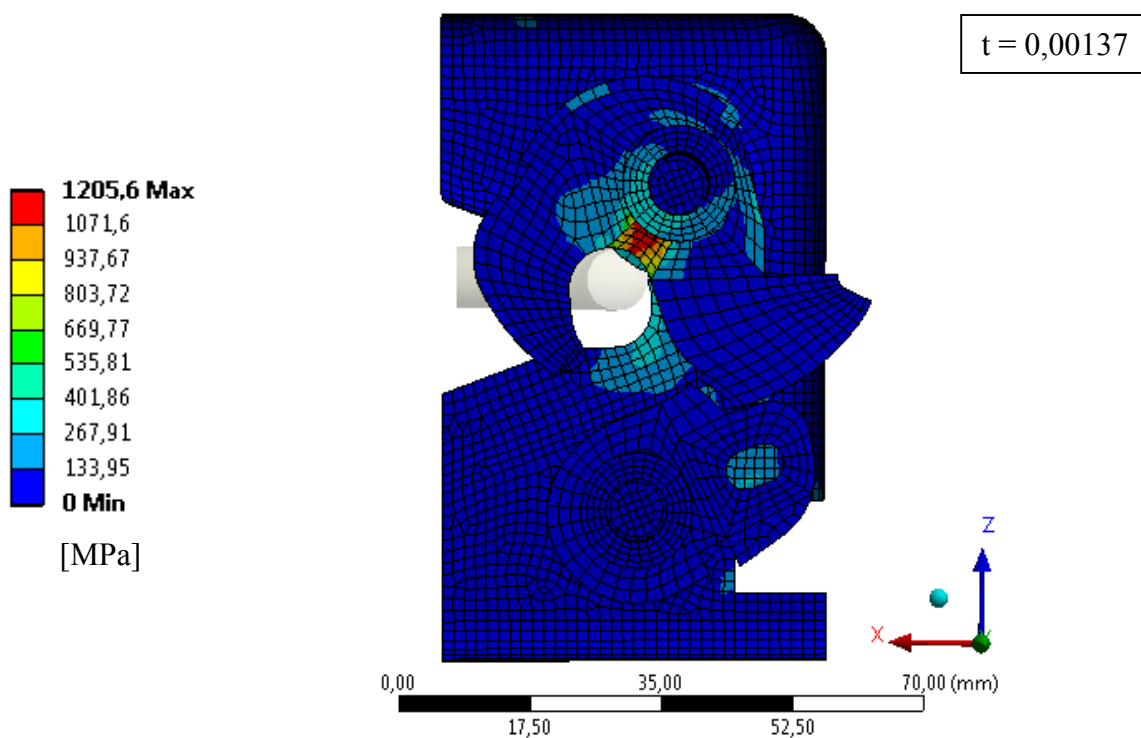
Obr. 62 Detail 6% poměrné plastické deformace distančního kroužku rohatky v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel [-]

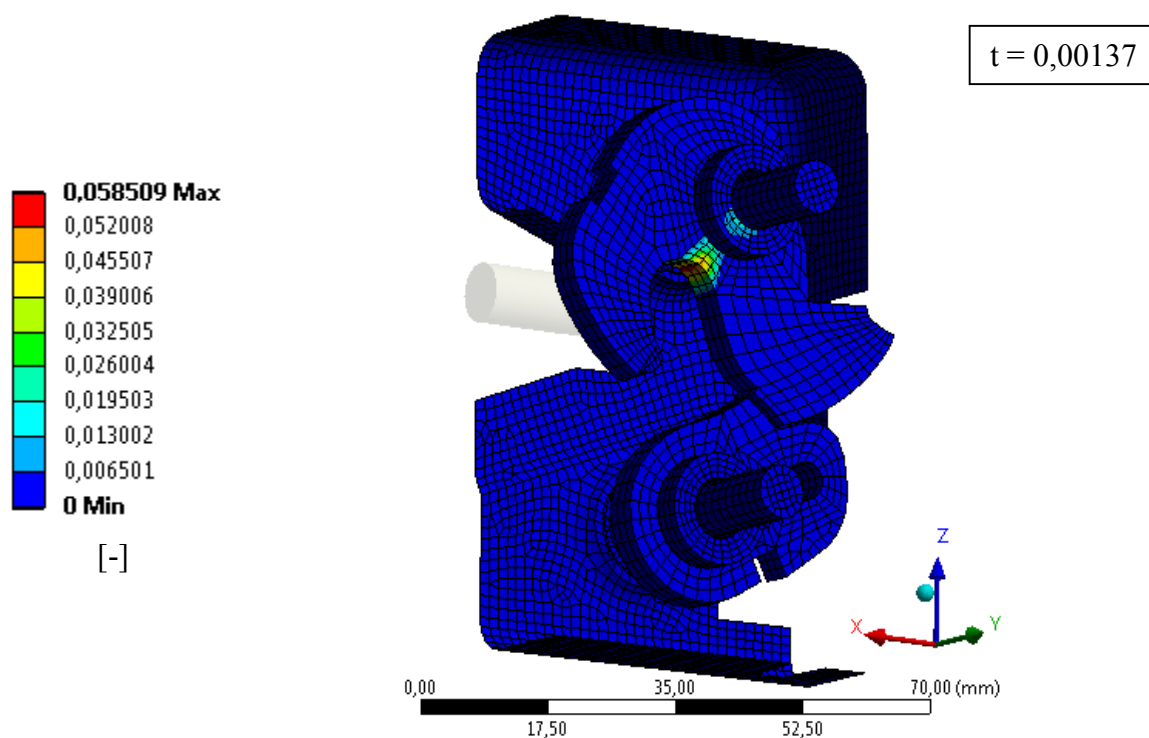


Obr. 63 Detail 6% poměrné plastické deformace rohatky kolem čepu v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel [-]

Graf 14 Síla F_2 při 6% plastické deformaci v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel

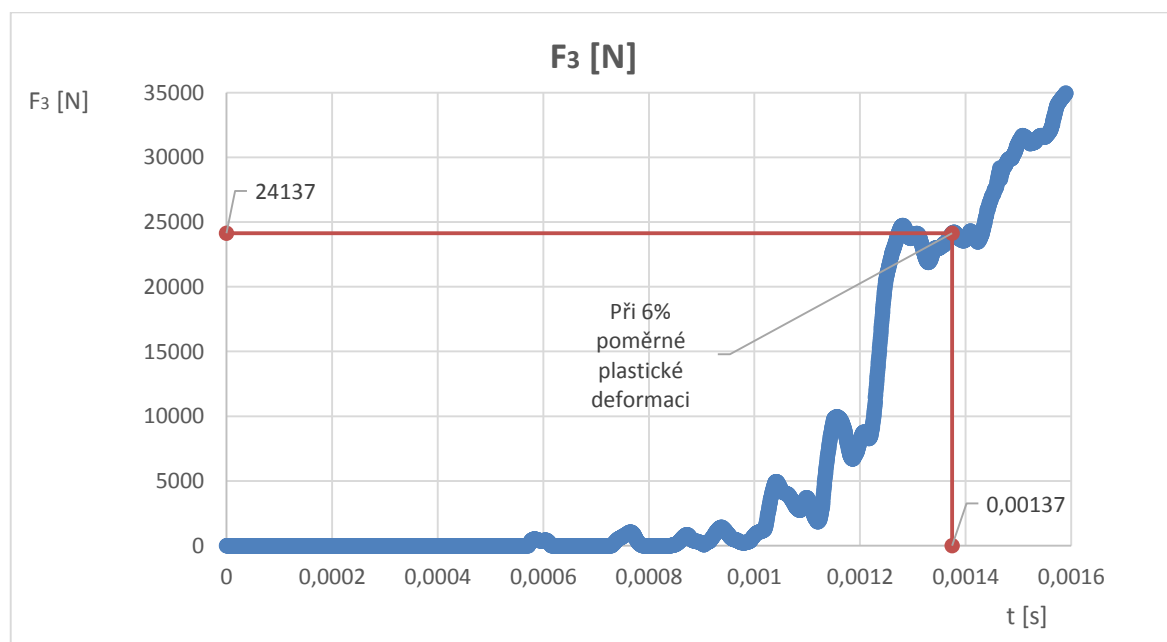
5.5.8. Získané výsledky pro směr působící síly F_3

**Obr. 64** Redukované napětí σ_R^{MH} při 6% poměrné plastické deformaci [MPa]



Obr. 65 6% poměrná plastická deformace v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel [-]

Graf 15 Síla F_3 při 6% plastické deformaci v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel



5.5.9. Dílčí závěr a zhodnocení

Výsledky z analýzy zjednodušeného zámku zadních sedadel jsou vyhodnoceny v následujících tabulkách.

Tab. 17 Dosažené síly při 6% poměrné plastické deformaci v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel

F_1 [N]	F_2 [N]	F_3 [N]
22 280	6 405	24 137

Tab. 18 Dosažená redukovaná napětí σ_R^{MH} při 6% poměrné plastické deformaci v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel

Redukované napětí σ_R^{MH} [MPa]			
Ve směru síly	F_1	F_2	F_3
	1269,6	1195,2	1205,6

Tab. 19 Čas při dosažení 6% poměrné plastické deformace v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel

t [s]			
Ve směru síly	F_1	F_2	F_3
	0,00245	0,00605	0,00137

Na obrázcích při vyhodnocení síly F_1 a F_2 je opět možno spatřit lokální špičku při najetí třmenu do rohatky. Tato špička by s největší pravděpodobností ve skutečnosti nevznikla, jelikož je rohatka obalena v plastovém krytu, který nárazy tlumí.

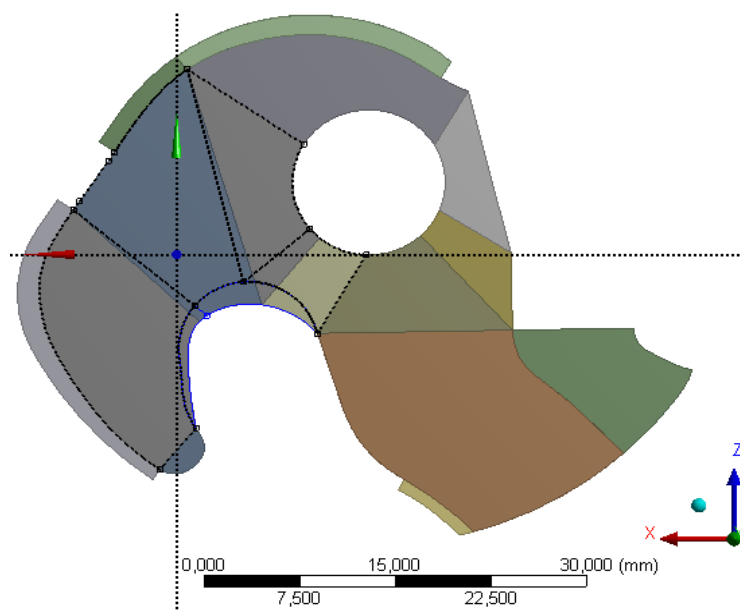
Při vyhodnocování síly F_2 bylo zjištěno, že v tomto směru není kritickou součástí zámku rohatka, nýbrž distanční kroužek. Při deformaci rohatky ve směru síly F_2 dochází k tlačení na distanční kroužek, a protože je rohatka z pevnějšího materiálu, dříve dojde k porušení distančního kroužku. Jestliže se poruší distanční kroužek, mohlo by následovat vypadnutí rohatky ze své přirozené polohy a tedy i otevření zámku, což není požadováno. Hodnoty energií při vyhodnocování síly F_1 dosažených během analýzy viz Příloha 6.

6. Návrh změn konstrukce zámku zadních sedadel s cílem zvýšení dynamické únosnosti

Z předchozích kapitol (5.3. a 5.4.) bylo zjištěno, že ve většině případů je nejkritičtější součástí zámku zadních sedadel rohatka. Vyplývá to i z uložení, kdy při nárazu působí přímo třmen na rohatku. Z tohoto důvodu byly změny konstrukce navrženy na rohatce.

6.1. Změny konstrukce provedené na rohatce

Jak již bylo řečeno, změn se dostalo v konstrukci rohatky. Aby byla zvýšena její únosnost, byl přidán materiál a mírně změněn tvar v její kritické oblasti. Na Obr. 66 je čárkovaně zobrazen tvar rohatky před změnou.



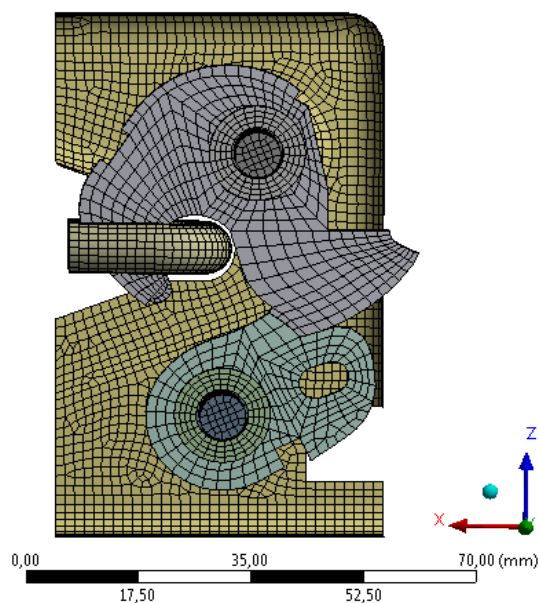
Obr. 66 Změněná konstrukce rohatky

6.2. Úpravy na modelu

Na modelu zjednodušeného zámku nebyly provedeny žádné úpravy, tedy zámek měl stejné parametry jako v kapitole 5.5. Jedinou změnou byl tvar rohatky (viz předchozí kapitola).

6.3. Konečno-prvková síť

Síť konečných prvků zůstala téměř stejná, jako v kapitole 5.5.2.



Obr. 67 Konečno-prvková síť na zjednodušeném zámku zadních sedadel s upravenou rohatkou

Tab. 20 Počet elementů a uzlů obsažených ve zjednodušeném modelu zámku zadních sedadel s upravenou rohatkou

	Počet	
	Elementů	Uzlů
Rohatka	1712	2510
Západka	654	1052
Čep rohatky	754	1300
Čep západky	754	1300
Třmen	2128	2793
Základní deska	3074	3237
Distanční kroužek rohatky	60	160
Distanční kroužek západky	60	160
Šroub rohatky	931	1268
Šroub západky	931	1268
Celkem	11 058	15 048

6.4. Kontakty

Řešeny totožně jako v kapitole 5.5.3.

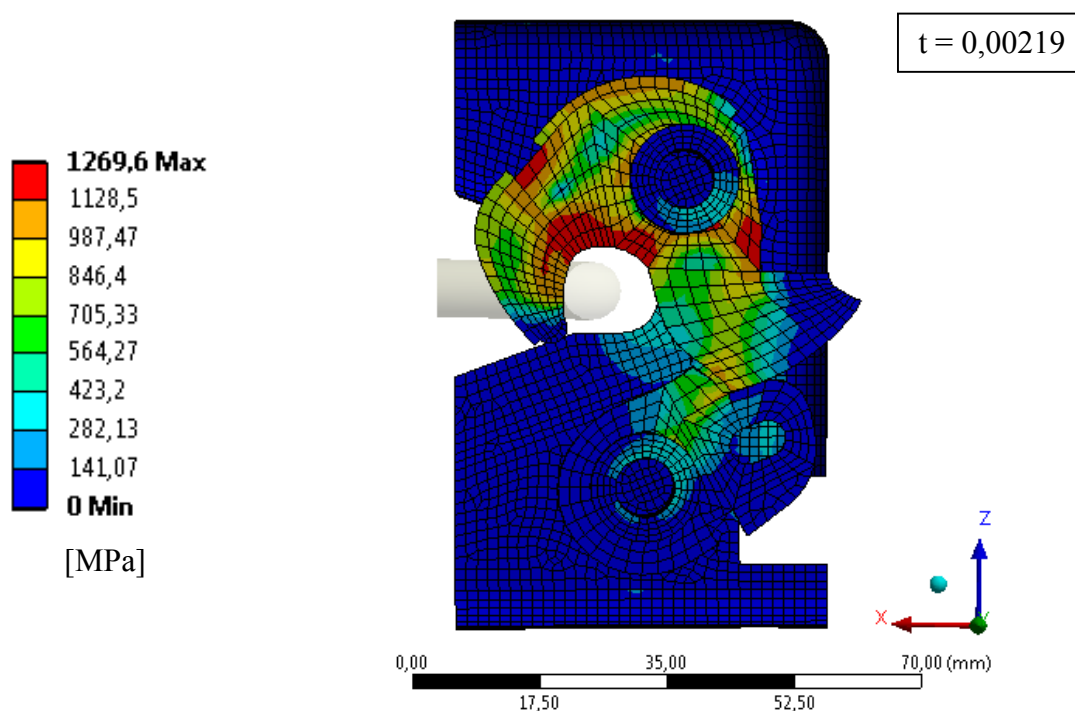
6.5. Okrajové podmínky

Okrajové podmínky byly zadány stejně jako v kapitole 5.5.4.

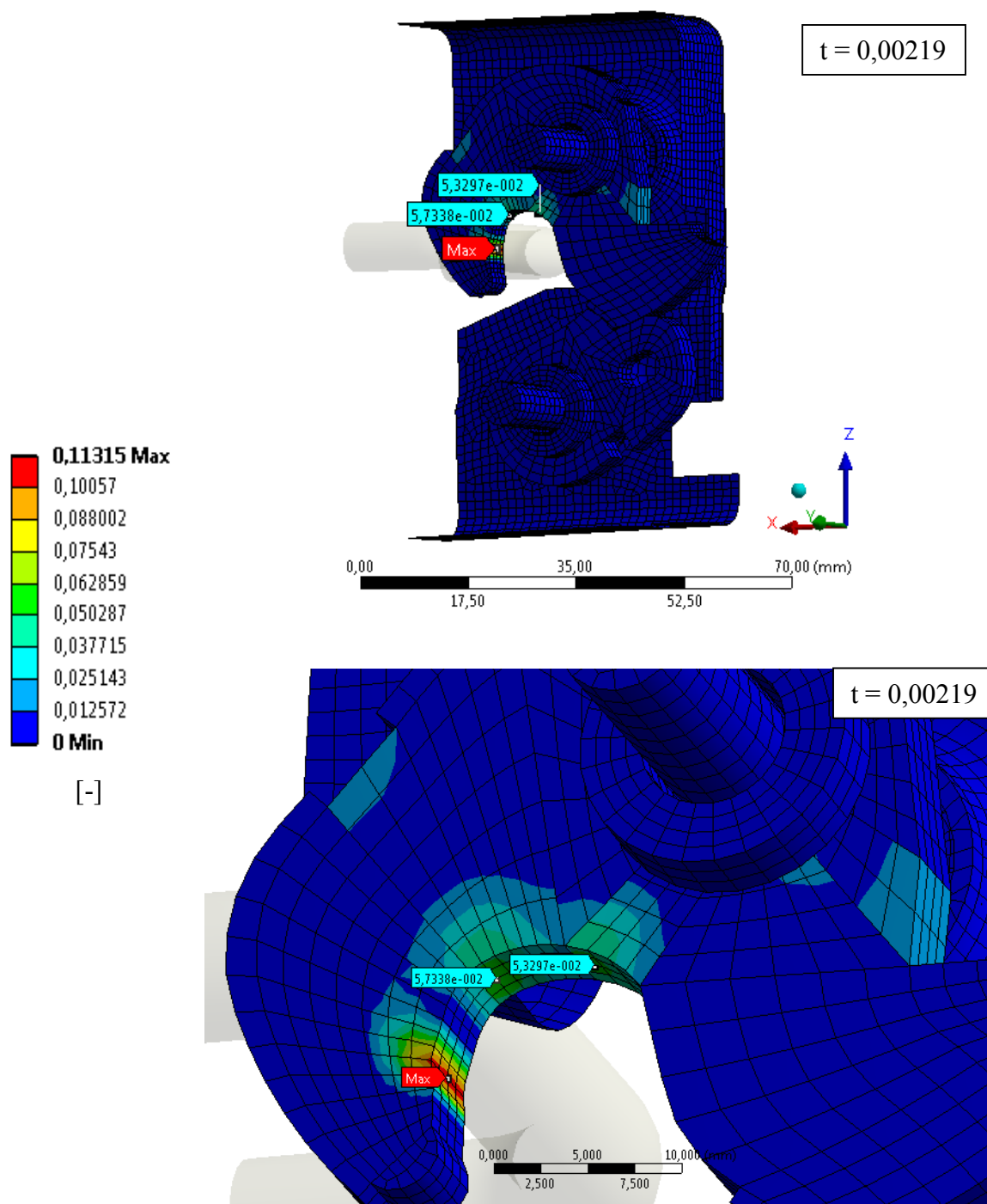
6.6. Počáteční kritický časový krok

Jelikož byla konečno-prvková síť téměř totožná jako u předchozího modelu, byl totožný i počáteční kritický časový krok. Opět byla použita technika „Mass scaling“ ke zvětšení kritického časového kroku se stejnými hodnotami jako v kapitole 5.5.5.1.

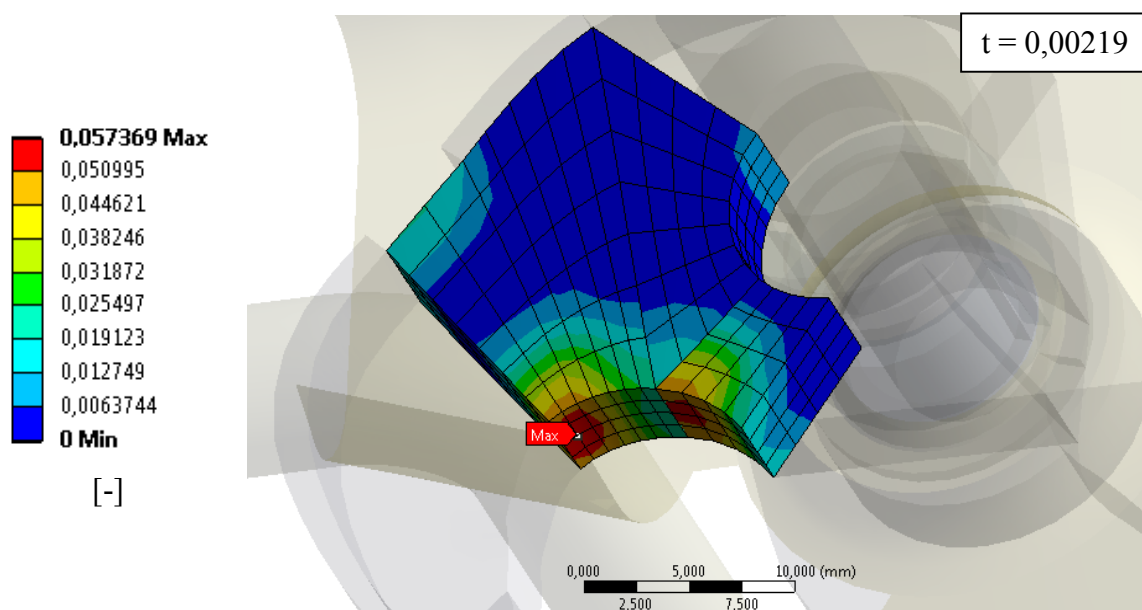
6.7. Získané výsledky pro směr působící síly F_1



Obr. 68 Redukované napětí σ_R^{MH} při 6% poměrné plastické deformaci v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel s upravenou rohatkou [MPa]

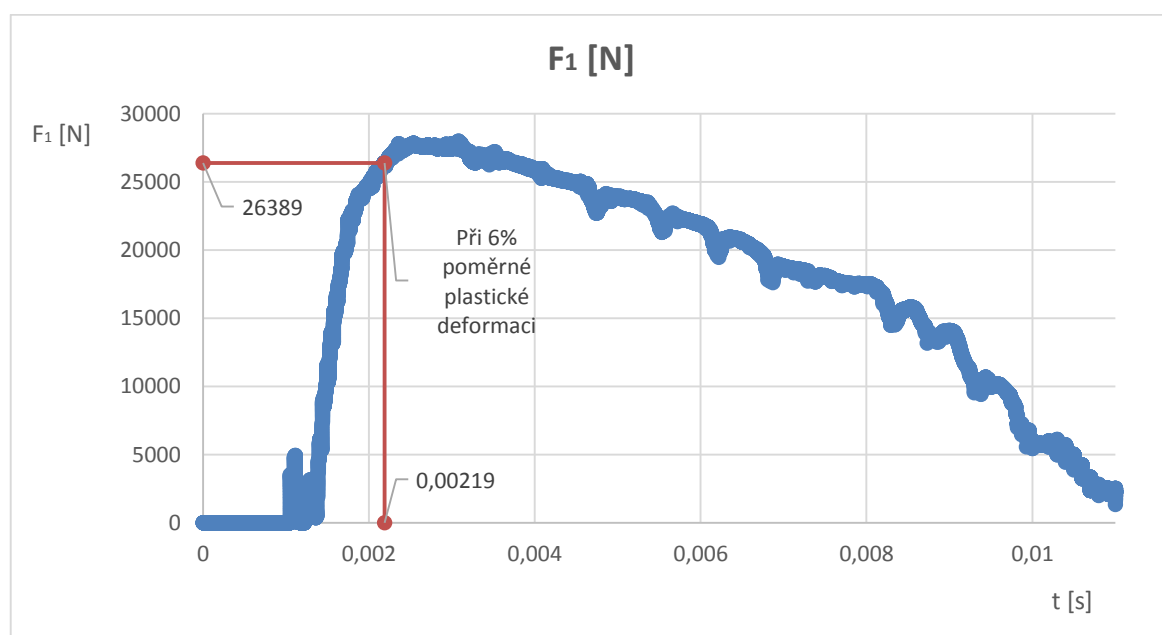


Obr. 69 6% Poměrná plastická deformace v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel s upravenou rohátkou [-]

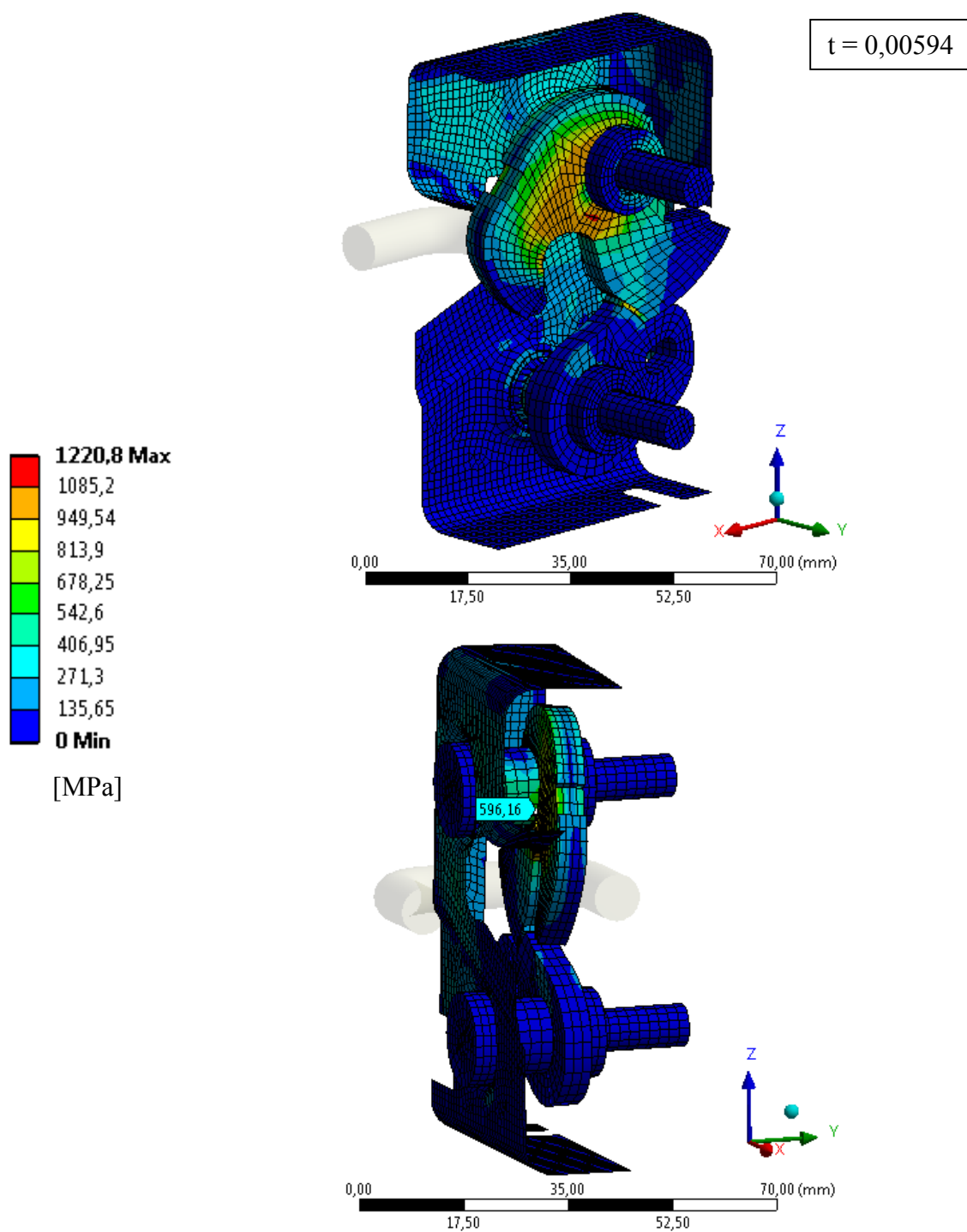


Obr. 70 Detail 6% poměrné plastické deformace v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel vyhodnocené na upravené rohatce v místě kolem čepu [-]

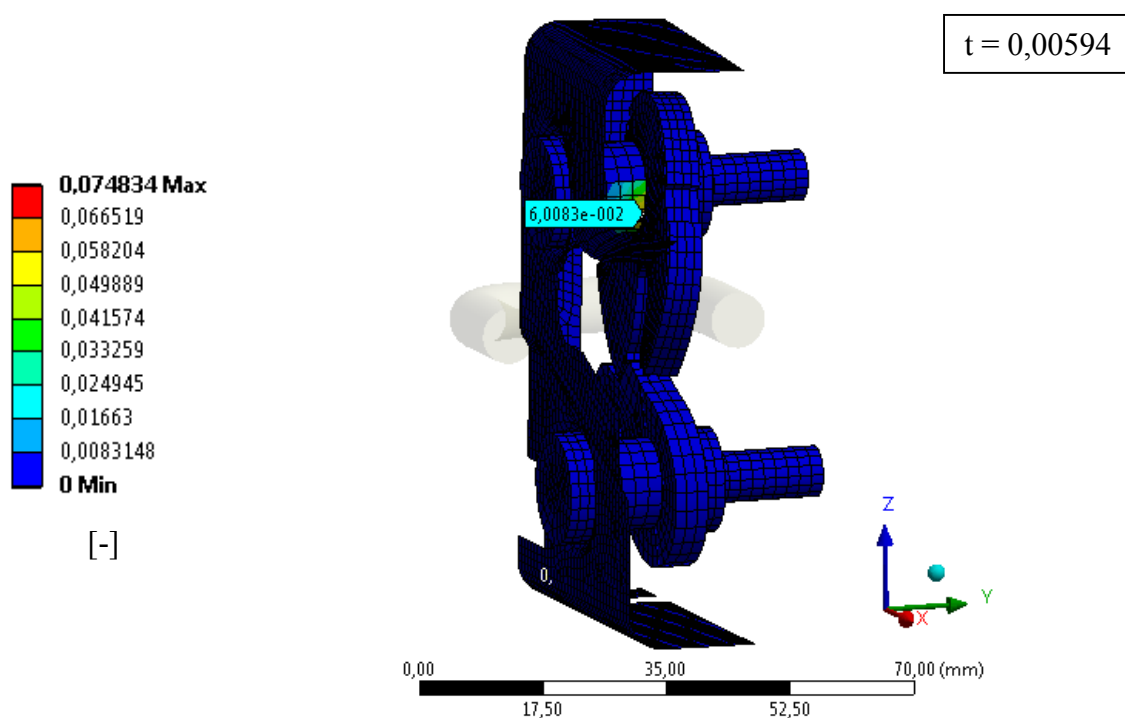
Graf 16 Síla F_1 při 6% plastické deformaci v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel s upravenou rohatkou



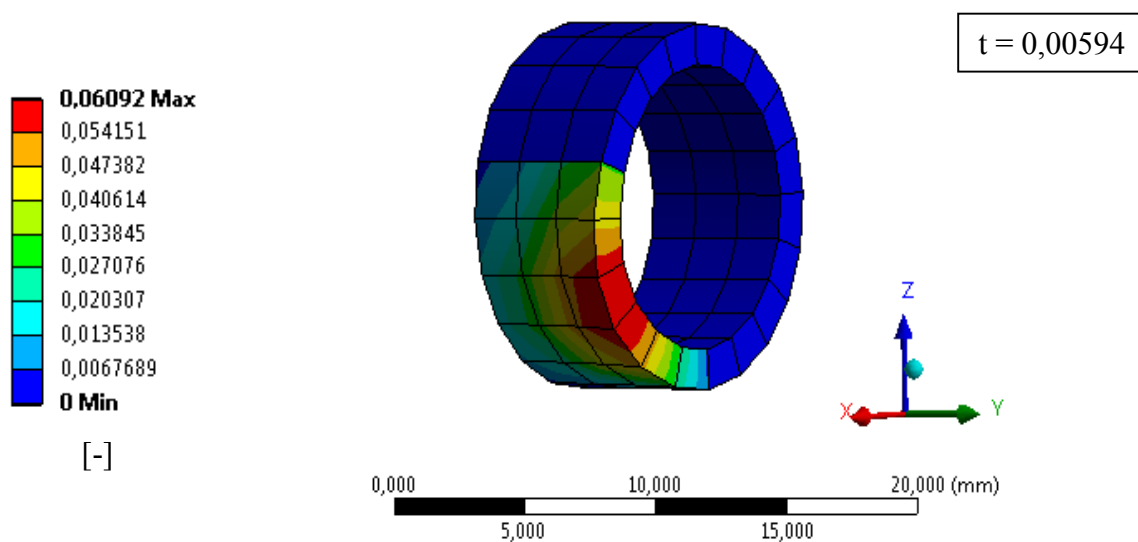
6.8. Získané výsledky pro směr působící síly F_2



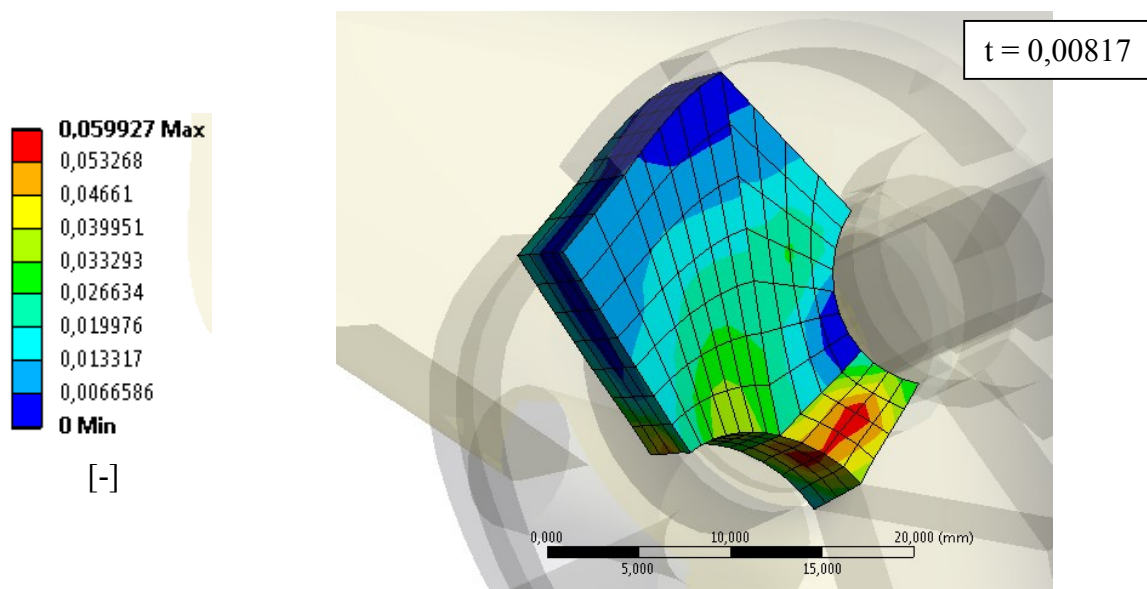
Obr. 71 Redukované napětí σ_R^{MH} při 6% poměrné plastické deformaci v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel s upravenou rohatkou [MPa]



Obr. 72 6% poměrná plastická deformace v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel s upravenou rohátkou [-]

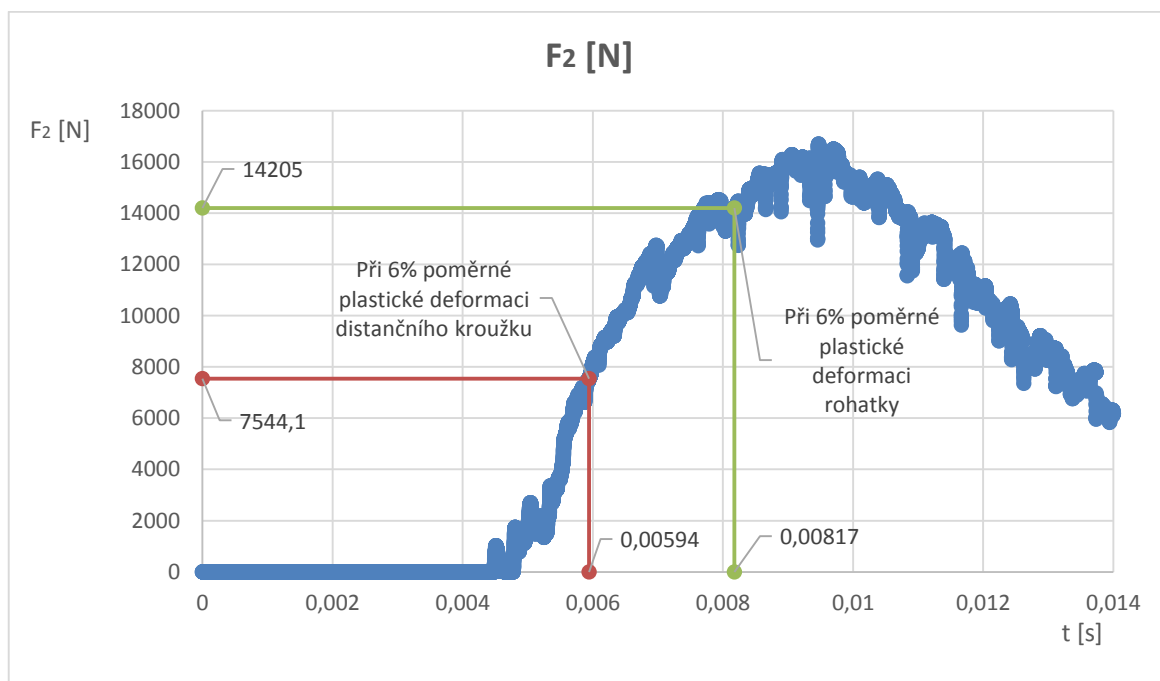


Obr. 73 Detail 6% poměrné plastické deformace distančního kroužku rohátky v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel s upravenou rohátkou [-]

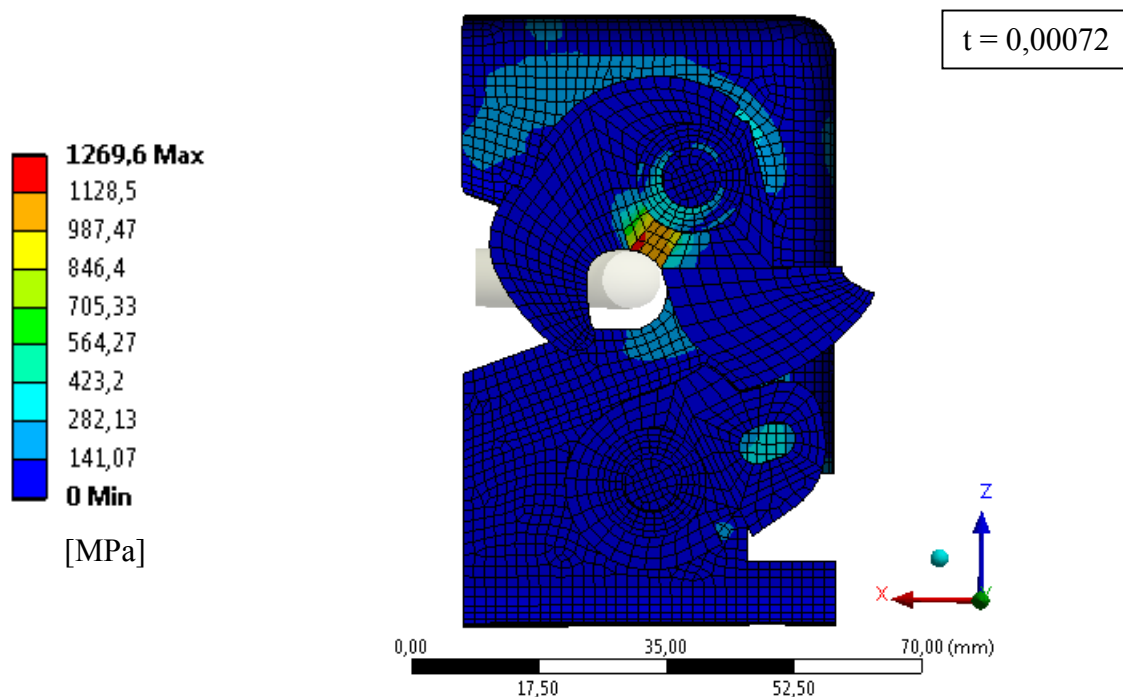


Obr. 74 Detail 6% poměrné plastické deformace rohatky kolem čepu v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel s upravenou rohatkou [-]

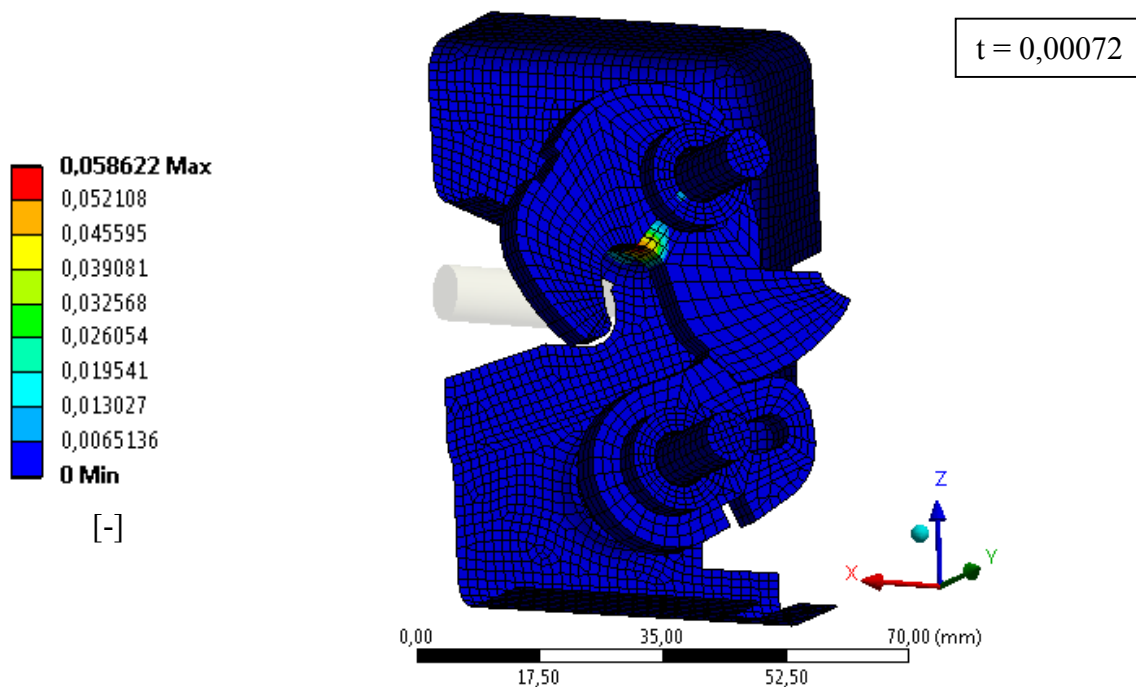
Graf 17 Síla F_2 při 6% plastické deformaci v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel s upravenou rohatkou



6.9. Získané výsledky pro směr působící síly F_3

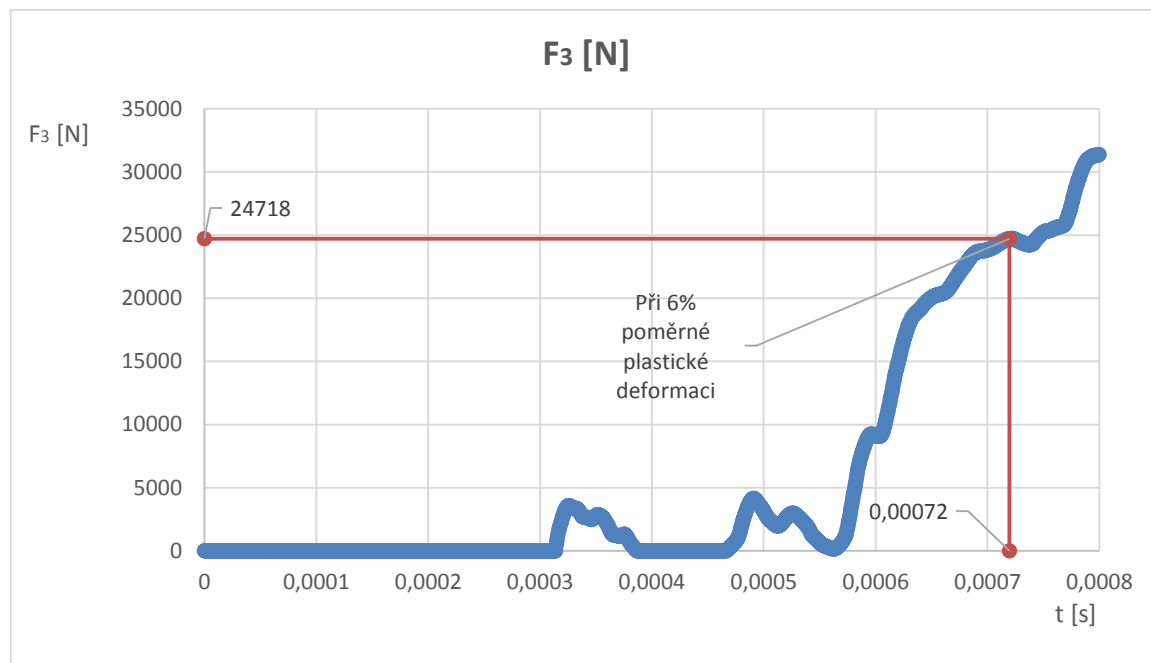


Obr. 75 Redukované napětí σ_R^{MH} při 6% poměrné plastické deformaci v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel s upravenou rohatkou [MPa]



Obr. 76 6% poměrná plastická deformace v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel s upravenou rohatkou [-]

Graf 18 Síla F_3 při 6% plastické deformaci v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel s upravenou rohatkou



6.10. Dílčí závěr a zhodnocení

Dosažené výsledky z analýzy zjednodušeného zámku zadních sedadel s upravenou rohatkou jsou patrné v následujících tabulkách.

Tab. 21 Dosažené síly při 6% poměrné plastické deformaci v modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel s upravenou rohatkou

F_1 [N]	F_2 [N]	F_3 [N]
26 389	7 544,1	24 718

Tab. 22 Dosažená redukovaná napětí σ_R^{HMH} při 6% poměrné plastické deformaci

Redukovaná napětí σ_R^{HMH} [MPa]			
Ve směru síly	F_1	F_2	F_3
	1269,6	1220,8	1269,6

Tab. 23 Čas při dosažení 6% poměrné plastické deformace

t [s]			
Ve směru síly	F ₁	F ₂	F ₃
	0,00219	0,00594	0,00072

V kapitole 6. byla změněna konstrukce rohatky, pro dosažení větší dynamické únosnosti zámku zadních sedadel. Vyjma rohatky nebyly v modelu zámku zadních sedadel prováděny další úpravy.

Při vyhodnocování výsledků ve směrech sil F_1 a F_2 se objevily lokální špičky způsobené nárazem třmenu na ostré hrany rohatky. V těchto místech rohatky však ve skutečnosti nedochází k jejímu porušení.

Jak už bylo řečeno, při působení třmenu ve směru síly F_2 dojde nejdříve k porušení distančního kroužku. Zámek s příliš deformovaným distančním kroužkem by se však mohl otevřít a přestat plnit svou funkci. Energie vyhodnocené v průběhu analýzy viz Příloha 7.

7. Celkové zhodnocení a závěr

Předmětem diplomové práce bylo provedení dynamické analýzy zámku zadních sedadel automobilu, nalezení jeho kritických míst a návrh vhodných opatření ke zlepšení únosnosti. Součástí práce byl dále popis jednotlivých součástí zámku zadních sedadel, jeho poloh a také rešerše současných zámků, pro seznámení s tímto pojmem. Dynamická analýza byla řešena v softwaru ANSYS Workbench.

Řešenou technickou soustavou byl zámek zadních sedadel, který je umístěn uvnitř sedadla a je spojen s karoserií automobilu prostřednictvím třmenu. Tento mechanismus slouží k zajištění určité polohy sedadla.

Zámek zadních sedadel musí splňovat přísná kritéria z hlediska pevnosti, protože při nárazu automobilu do překážky může dojít k jeho otevření, a tím ohrožení bezpečnosti cestujících. Jedním ze způsobů pevnostních zkoušek zámků jsou nárazové zkoušky, kdy dochází k velkým deformacím ve velmi krátkém čase. Ke zjištění napěťového vztahu

v těchto podmínkách je vhodné počítačové modelování explicitní numerickou metodou. Tato metoda byla prostudována (viz kapitola 3.1.) a následně využita ke zjištění stavu zámku při nárazu automobilu. K řešení byl použit modul „Explicit Dynamics STR“ softwaru ANSYS Workbench.

Celá technická soustava obsahuje mnoho součástí, díly, které neměly podstatný vliv na pevnost zámku zadních sedadel, nebyly proto v modelu uvažovány. Model zámku zadních sedadel obsahoval tři ocelové materiály. K popisu chování všech materiálů byl použit izotropní multi-lineární materiálový model. K vytvoření materiálové modelu rohatky a západky (viz kapitola 4.3.1.) byl výrobcem poskytnut diagram z tahové zkoušky. Ostatní použité materiálové modely byly vytvořeny na základě dostupných dat na internetu.

Analýza zámku zadních sedadel explicitní numerickou metodou byla provedena způsobem „od nejjednoduššího modelu až po nejsložitější“. Cílem tohoto postupu bylo seznámení se s problematikou explicitní numerické metody a chováním jednotlivých částí zámku zadních sedadel. Snahou také bylo zjistit, zda by v budoucnu nebylo možno analyzovat samostatně pouze nejkritičtější součásti s vhodnými okrajovými podmínkami.

Z uložení jednotlivých součástí a fyzických zkoušek na trhacím stroji vyplývá, že nejkritičtějším dílem zámku byla rohatka. Z tohoto důvodu prvním analyzovaným modelem byla rohatka v sestavě se třmenem (viz kapitola 5.3.). Dále pak rohatka se západkou uložená v čepích (viz kapitola 5.4.) a zjednodušený zámek zadních sedadel (viz kapitola 5.5.). Skutečné uložení měl nejlépe vystihnout model zjednodušeného zámku zadních sedadel.

Nastavení analýzy explicitní numerické metody bylo provedeno na základě produktové dokumentace výrobce softwaru a je diskutováno v kapitole 5.2. a uvedeno v přílohách práce. Ve všech modelech byly nadefinovány stejné parametry (v některých případech s mírnými obměnami). Všechny modely byly testovány pro zatížení v osách X, Y a Z dle výkresové dokumentace (viz Obr. 17). V těchto směrech byly zjišťovány síly, které vyjadřují hodnoty únosnosti zámku až do jeho porušení. Pohyb třmenu byl řízen deformačně. Interakce mezi tělesy byly řešeny kontaktem typu „Body Interactions“ s výjimkou modelu zjednodušeného zámku zadních sedadel, kde byl navíc použit kontakt typu „Bonded“ pro uchycení čepů v základní desce.

Velmi důležitým parametrem před spuštěním výpočtu je tzv. počáteční kritický časový krok, který vypovídá o rychlosti řešení daného problému explicitní numerickou metodou. Čím většího časového kroku je dosaženo, tím rychleji výpočet proběhne. Proto byla tato práce vedena snahou o vytvoření co nejpravidelnější konečno-prvkové sítě s vhodnou velikostí elementů.

Analýza rohatky byla provedena se dvěma různými diskretizacemi (hrubá a jemná síť) a rozdíly ve výsledcích byly analyzovány v kapitole 5.3.8. Okrajové podmínky aplikované na rohatku byly nastaveny tak, aby zohledňovaly její skutečné uložení.

Ve druhém modelu byla k rohatce přidána západka a obě součásti byly uloženy v čepech. Tímto uložním mělo být dosaženo mnohem lepších výsledků odpovídajících skutečnosti. Výsledky jsou detailně vyhodnoceny v kapitole 5.4.9.

Nejsložitějším modelem byl zjednodušený zámek zadních sedadel uchycený šrouby v čepech, který nejvíce odpovídal skutečnému uložení. Jelikož byl model dosti složitý a výpočetně náročný, byla uplatněna technika umělého zvýšení kritického počátečního časového kroku „Mass scaling“ (více v kapitole 5.5.5.1.). Tento model sloužil jako výchozí pro pozdější konstrukční úpravy. Dosažené hodnoty jsou uvedeny v kapitole 5.5.9.

Na základě konzultace s vývojovými pracovníky bylo vyhodnoceno, že nejlepších výsledků bylo dosaženo v případě zjednodušeného zámku zadních sedadel uchyceného šrouby v čepech. Ve směru osy X bylo dosaženo kritické síly zhruba 22,3 kN, což odpovídá i fyzickým testům na trhacím stroji. Ve směru osy Y bylo dosaženo síly 6,4 kN. Takto malé síly bylo dosaženo z důvodu porušení distančního kroužku rohatky. Pokud by nedošlo k jeho porušení, zámek by vydržel sílu 11,5 kN. Ve směru osy Z bylo dosaženo síly 24,1 kN. Výsledky analyzovaných modelů jsou zhodnoceny v Tab. 24.

V případě vyhodnocování sil F_1 a F_2 docházelo ke vzniku lokálních špiček v místě styku rohatky se třmenem. Tento jev byl nejpravděpodobněji způsoben nárazem třmenu na ostrou hranu rohatky, která je ve skutečnosti pokryta plastovým obalem a tlumí rázy. Tudíž by v těchto místech nedocházelo k takto značným poměrným plastickým deformacím. Předejít tomuto problému by se dalo namodelováním dodatečného zaoblení v problematických místech či model i s plastovým krytem rohatky. Nicméně plastový kryt nebyl modelován z důvodu již tak obsáhlého modelu.

Součástí práce bylo navržení změn konstrukce zámku zadních sedadel s cílem zvýšení dynamické únosnosti. Na základě všech zjištěných výsledků byla navržena změna tvaru rohatky (viz Obr. 66) v oblasti, kde nejčastěji dochází k jejímu porušení. Takto upravený model byl znovu analyzován a vyhodnocen (viz kapitola 6.10.). Ve směru osy X bylo dosaženo kritické síly F_1 zhruba 26,4 kN, což je zlepšení únosnosti v tomto směru o 18,4 %. V ose Y dosáhla kritická síla F_2 hodnoty 7,5 kN, došlo tedy ke zlepšení o 17,8 %. Hodnota kritické síly F_3 v ose Z byla v obou modelech takřka shodná. Pro podstatné zlepšení únosnosti zámku zadních sedadel ve směru osy Y je doporučováno zvážení pevnějšího materiálu distančního kroužku rohatky.

Tab. 24 Vyhodnocení dosažených sil u analyzovaných modelů při 6% poměrné plastické deformace

	F_1 [N]	F_2 [N]	F_3 [N]
Rohatka s jemnou sítí	20 850	12 346	40 486
Rohatka s hrubou sítí	22 758	10 894	34 013
Rohatka se západkou uložená v čepech	22 627	9 486,9	28 171
Zjednodušený zámek zadních sedadel	22 280	6 405	24 137

Tab. 25 Srovnání dosažených sil při 6% plastické deformaci původního a upraveného zjednodušeného modelu zámku zadních sedadel

	F_1 [N]	F_2 [N]	F_3 [N]
Zjednodušený zámek zadních sedadel	22 280	6 405	24 137
Zjednodušený zámek zadních sedadel s upravenou rohatkou	26 389	7 544,1	24 718
Zlepšení [%]	18,44	17,78	0,024

8. Citovaná literatura

1. **Wikipedia.** Lock (security device). *Wikipedia, the free encyclopedia*. [Online] Wikipedia. [Citace: 2. Březen 2015.] [http://en.wikipedia.org/wiki/Lock_\(security_device\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Lock_(security_device)).
2. —. Zámek (zařízení). *Wikipedie, otevřená encyklopedie*. [Online] Wikipedia. [Citace: 2. Březen 2015.] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A1mek_\(za%C5%99%C3%ADzen%C3%AD\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A1mek_(za%C5%99%C3%ADzen%C3%AD)).
3. **NOTO, s.r.o.** Visací zámek litina 63mm - modrý 32163 Magg. *Kování - Visací zámky*. [Online] NOTO s.r.o. [Citace: 5. Březen 2015.] <http://www.noto.cz/dilna-naradi/stavba/kovani/visaci-zamky/visaci-zamek-litina-63mm-modry-32163-magg.html>.
4. **Houdek, Výroba klíčů Praha - Atypklič.cz Josef.** K 106A Zámek zadlabací vložkový - na posuvné dveře, bez převodu. *Zámky zadlabávací - Řada 72/60*. [Online] Výroba klíčů Praha - Atypklič.cz Josef Houdek, 2006. [Citace: 4. Březen 2015.] <http://www.atypklic.cz/p231-k-106a-zamek-zadlabaci-vlozkovy-na-posuvne-dvere-bez-prevodu/>.
5. **Carskings.** Citroen DS3 2015 Facelift White. *Citroen DS3 2015: facelift includes new headlights and makes it more aggressive [PHOTOS]*. [Online] Carskings, 29. Květen 2014. [Citace: 10. Březen 2015.] <http://www.carskings.com/citroen-2/citroen-ds3-2015-facelift-includes-new-headlights-and-makes-it-more-aggressive-photos/attachment/citroen-ds3-2015-facelift-white>.
6. **Pett, Alexander.** Introduction to Explicit Dynamics Using ANSYS Workbench. [Online] 2011. [Citace: 1. Duben 2015.] <http://www.ansys.com/staticassets/ANSYS%20UK/staticassets/Presentations/2013%20User%20Conference%20Presentations/Track%204%201200%20intro%20to%20explicit.pdf>.
7. **Horyl, Petr.** Katedra mechaniky 337/Studiijní materiály/MKP II. *Horyl Petr: Podpůrné materiály pro předmět MKP II*. [Online] [Citace: 1. Duben 2015.] http://www.337.vsb.cz/materialy/PodpurneTexty_MKPII.pdf.
8. **Fusek, Martin a Halama, Radim.** Matematika pro inženýry 21. století/Výukové materiály/Metoda konečných prvků a metoda hraničních prvků. *Metoda konečných prvků a metoda hraničních prvků*. [Online] 2011. [Citace: 3. Duben 2015.]

http://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/metoda_konecných_prvku_a_hranicnich_prvku.pdf.

9. **ANSYS, Inc.** *ANSYS Help/Explicit Dynamics Theory Guide/What Is Explicit Dynamics?/Time Integration/Explicit Time Integration*. Pennsylvania, Cecil Township : ANSYS, Inc., 2015.

10. —. ANSYS Explicit STR. *ANSYS Explicit STR*. [Online] ANSYS, Inc., 2015. [Citace: 3. Duben 2015.] <http://www.ansys.com/Products/Simulation+Technology/Structural+Analysis/Explicit+Dynamics/ANSYS+Explicit+STR#/0/2>.

11. —. ANSYS Autodyn. *ANSYS Autodyn*. [Online] ANSYS, Inc., 2015. [Citace: 4. Duben 2015.] <http://www.ansys.com/Products/Simulation+Technology/Structural+Analysis/Explicit+Dynamics/ANSYS+Autodyn>.

12. **Numbers, European Steel and Alloy Grades** /. S420MC (1.0980). *Steel and cast iron standards*. [Online] European Steel and Alloy Grades / Numbers, 2011. [Citace: 21. Duben 2015.] http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=207.

13. —. 11SMn30 (1.0715). *Steel and cast iron standards*. [Online] European Steel and Alloy Grades / Numbers, 2011. [Citace: 20. Duben 2015.] http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=155.

14. **ANSYS, Inc.** *ANSYS Help/Explicit Dynamics Theory Guide/Analysis Settings/Solver Controls*. Pennsylvania, Cecil Township : ANSYS, Inc., 2015.

15. —. *ANSYS Help/Recommendations for Analysis Settings in Explicit Dynamics*. Pennsylvania, Cecil Township : ANSYS, Inc., 2015.

16. —. *ANSYS Help/Autodyn/Controls/Controls - Mass Scaling*. Pennsylvania, Cecil Township : ANSYS, Inc., 2015.

17. **Brano Group, a.s.** *Locking System for Rear Seat BMW - Mini*. [Presentation] Hradec n. Moravici : Brano Group, a.s., 2014.

18. **Express, Auto.** Ford Galaxy review - 2010 pictures. *Ford Galaxy review*. [Online] Auto Express. [Citace: 10. Březen 2015.] <http://www.autoexpress.co.uk/ford/galaxy/65802/ford-galaxy-review-2010-pictures>.
19. **Examiner, The.** Test Drive: Alfa Romeo Giulietta. *The Examiner*. [Online] The Examiner, 27. Únor 2015. [Citace: 10. Březen 2015.] <http://www.kgex.com.au/test-drive-alfa-romeo-giulietta/>.
20. **Automobile, La Revue.** Photo Fiat Bravo. *Photos*. [Online] La Revue Automobile. [Citace: 11. Březen 2015.] http://www.larevueautomobile.com/HD-Fiat-modele_Bravo-vue_Exterieur-img_Fiat_Bravo_001.jpg-image.
21. **Honest, John.** Will my Nissan Qashqai dCi's DPF be a problem? *Cars*. [Online] The Telegraph, 11. Listopad 2013. [Citace: 12. Březen 2015.] <http://www.telegraph.co.uk/motoring/caradvice/honestjohn/10433365/Will-my-Nissan-Qashqai-dCis-DPF-be-a-problem.html>.
22. **Stone-Auto.** Volkswagen Golf Plus. *главная*. [Online] Stone-Auto. [Citace: 13. Březen 2015.] <http://www.stone-auto.ru/Avtomobili/Prokat-avtomobilya-Volkswagen-Golf-Plus.html>.
23. **Churchill, Neil.** Volkswagen Tiguan Review: Good Thing, Small Package. *Home/Motoring*. [Online] Gulf Business, 17. Listopad 2012. [Citace: 14. Březen 2015.] <http://gulfbusiness.com/2012/11/volkswagen-tiguan-review-good-thing-small-package/#.VRhHdPmsVbI>.